

令和 8 年度

日本人間工学会北海道支部大会
講演集

開催日：令和 8 年 9 月 10 日(木)

会 場：公立千歳科学技術大学 情報棟

主 催：日本人間工学会北海道支部

令和 8 年度 日本人間工学会北海道支部大会

開催日：令和 8 年 9 月 10 日(木)

会 場：公立千歳科学技術大学 情報棟

主 催：日本人間工学会北海道支部

令和 8 年度日本人間工学会北海道支部大会プログラム

10:00～ 受付

10:30～12:00 一般セッション I 座長：佐藤 健斗（北海道科学大学）

1. GNSS受信環境を用いたドローン運用支援システム構築に向けた基礎的検討
○笠原 一成（公立千歳科学技術大学）
2. 悪天候による空港滞留の行動特性分析と早期行動支援インタフェースの検討
○佐藤 陽太（公立千歳科学技術大学）
3. 事務職場の温熱環境の実態調査
○石上 温（産業医科大学）
4. ポモドーロテクニックに適した休憩方法の検討
○山田 晋平（産業医科大学）
5. 身体能力の個人差に応じた許容作業強度の推定
○川崎 佑太（北海道立総合研究機構）
6. 光電式容積脈波から得られる指標の検討
—脈波伝播時間から血圧推定およびストレス誘発血管反応指数—
○三宅 晋司（公立千歳科学技術大学）

12:30～13:00 支部総会 北海道支部長 佐藤 健斗

13:00～14:00 特別講演「歩行のロツカー機能を補助する短下肢装具の開発
—補装具と人間工学の接点—」
講師：春名 弘一 先生（北海道科学大学）

14:10～15:20 特別セミナー「人間中心設計(Human Centered Design)の基礎
—人間中心設計と人間工学の位置づけ—」
講師：水本 徹 先生（株式会社 島津製作所）

15:30～17:20 一般セッションⅡ

座長： 小林 大二（公立千歳科学技術大学）

1. エキセントリック運動に特化したトレーニングマシンの開発
—ダンベルアームカールを対象として—
○田村 寛貴（北海道科学大学）
2. 超小型モビリティの乗り心地制御システム
—マスキング手法を用いた快適性評価に関する基礎検討—
○山下 善弘（北海道科学大学大学院）
3. インホイールモータを用いた電動車いす
—躍度を考慮した安全設計に関する基礎検討—
○出川 奏楽（北海道科学大学大学院）
4. 筋電義手の快適性制御に関する研究
—心理状態を考慮した動作閾値に関する基礎検討—
○松田 孝太郎（北海道科学大学大学院）
5. シニアユーザーを対象としたユーザビリティ評価の実践
—BtoB製品 2つの事例から得られた知見—
○吉見 邦子（（株）島津製作所）
6. 視線情報を用いた心理的レジリエンス推定
—スマートフォンへの実装と推定精度の検討—
○小谷 賢太郎（関西大学）
7. AIの社会受容性に関する人間工学的課題
○福住 伸一（産業技術総合研究所）

17:20～ 閉会の辞

倉岡 宏幸（公立千歳科学技術大学）

一般セッション I

【一般セッション I】

座長 佐藤 健斗（北海道科学大学）

1. GNSS受信環境を用いたドローン運用支援システム構築に向けた基礎的検討
○笠原 一成（公立千歳科学技術大学）
2. 悪天候による空港滞留の行動特性分析と早期行動支援インタフェースの検討
○佐藤 陽太（公立千歳科学技術大学）
3. 事務職場の温熱環境の実態調査
○石上 温（産業医科大学）
4. ポモドーロテクニックに適した休憩方法の検討
○山田 晋平（産業医科大学）
5. 身体能力の個人差に応じた許容作業強度の推定
○川崎 佑太（北海道立総合研究機構）
6. 光電式容積脈波から得られる指標の検討
—脈波伝播時間から血圧推定およびストレス誘発血管反応指数—
○三宅 晋司（公立千歳科学技術大学）

GNSS受信環境を用いたドローン運用支援システム構築に向けた基礎的検討

○笠原 一成, 曾我 聡起, 小林 大二(公立千歳科学技術大学理工学部)

A Fundamental Study toward the Development of a Drone Operation Support System

Utilizing GNSS Reception Environment

Issei KASAHARA, Toshioki SOGA, Daiji KOBAYASHI

(Chitose Institute of Science and Technology, Faculty of Science and Technology)

1. はじめに

近年, 災害対応におけるドローンの活用が進んでいる。一方, ドローンはGNSS (Global Navigation Satellite System)を利用して飛行制御を行うため, 周辺環境による衛星信号の遮蔽等によって受信状況が悪化すると, 離陸や飛行が困難となる場合がある。実際に千歳市消防局において, A社が提供する国産ドローンを運用する際にGNSS衛星を十分に受信できず, 飛行できなかった事例があった。しかし, このような飛行困難な状況を現地到着前に把握することは現段階では容易ではない。既存手法では, 衛星軌道情報から任意の地点・日時における理論上の可視衛星数を算出することができるが, 理論上の可視衛星数と実際にドローンが利用する衛星数には差が生じる可能性がある。

そこで本研究では, 理論可視衛星数と実測衛星数との乖離が生じる要因として, ①山体・谷地形, 遮蔽物による地形, ②観測時刻による衛星配置, ③ドローン固有の衛星選択・受信条件の3つを仮説として設定した。これらの要因と実測衛星数との関係を明らかにすることで, 周辺環境によってGNSS受信が不安定となる危険箇所を事前に把握・可視化することを目的とする。

2. 方法

本研究は, CelesTrakから取得したGNSS衛星のTLE (Two-Line Element)データをPythonのSkyfieldライブラリで解析し, 指定した緯度, 経度および日時における衛星の仰角を算出した。仰角5°以上の衛星を可視衛星として, GPS, GLONASS, QZSS, SBASのGNSS種別ごとに分類し, 理論可視衛星数を算出した。また, DJI Mavic 2 ZoomがGPSおよびGLONASSを¹⁾, ACSI製「蒼天」がGPS, QZSS, SBASを²⁾利用することを前提としている。現地測定では, Android端末のGPSTestを用いて捕捉衛星数および測位衛星数を取得し, DJI Mavic 2 Zoomの受信衛星数を記録した。さらに, FileMaker Goを用いて現地の位置情

報および日時を取得し, Mac上のFileMaker ProからPythonプログラムへ緯度, 経度, 日時を渡すことで, 現地測定地点に対応した理論衛星数を自動取得するシステムを構築した。取得したデータについて, 理論値と実測値を比較するとともに, GPSTestの測位衛星数とMavic 2 Zoomの受信衛星数との相関を分析した。

3. 実験結果

予備実験として, 2026年6月14日および16日に公園2地点, 防風林2地点, 室内1地点, ビル街3地点を対象に計8回の実施した結果を表1に示す。理論可視衛星数は日時によって62~67機であった。

一方, GPSTestによる捕捉衛星数は25~31機, 測位衛星数は10~26機, Mavic 2 Zoomの受信衛星数は3~15機であり, 測定地点によって大きく異なった。GPSTest(Android)の測位衛星数とMavic 2 Zoomの受信衛星数との相関を分析した結果を図1に示す。二要素間のPearsonの相関係数は $r=0.94$ となり, 正の相関が確認された。

さらに, 山地やトンネルが連なる地形的特徴を有する支笏湖周辺4地点で追加調査を実施した結果, 仰角15°以上の理論可視衛星数は21~22機であり, 地点間の差は小さかった。一方, Android端末の測位衛星数は13~15機, ドローンの測位衛星数は9~13機であり, 理論値に対して実測値が少ない傾向が確認された。また, 4地点の天空率は31.6~55.1%であったが, 天空率が高い地点ほど測位衛星数が増加するという様な傾向は確認されなかった。特に, 天空率33.9%の地点ではAndroidが15機, ドローンが13機であったのに対し, 天空率55.1%の地点でもAndroidが15機, ドローンが13機であり, 天空率のみでは実測衛星数の差を説明できない結果となった。

表1 実施結果

	日時	理論値	補足値(Android)	測位値(Android)	測位値(ドローン)
公園1	06/14 14:30	67	29	25	14
公園2	06/14 14:30	67	29	26	15
防風林1	06/14 14:30	67	31	20	13
防風林2	06/14 14:30	67	30	19	13
室内	06/14 14:30	67	30	11	5
ビル街1	06/16 13:00	62	25	11	3
ビル街2	06/16 13:00	62	27	16	11
ビル街3	06/16 13:00	62	27	10	5

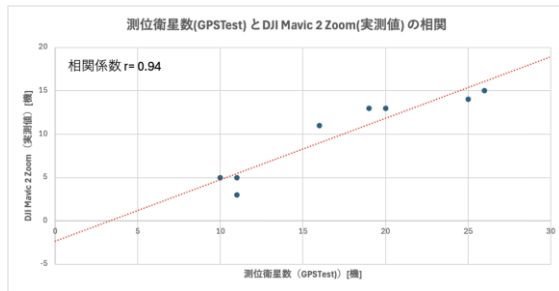


図1 Android端末とドローンの測位衛星数の相関

4. 考察

予備実験および支笏湖周辺での調査から、理論上の可視衛星数と実際の測位衛星数との間には明確な乖離が生じることが確認された。支笏湖周辺では、理論可視衛星数が21～22機と地点間でほぼ一定であったのに対し、Android端末では13～15機、ドローンでは9～13機となり、理論値だけでは実際のGNSS受信状況を十分に説明できないこと、山体やトンネル等による特定方向の遮蔽と衛星の位置関係が、実測衛星数に影響している可能性が示唆された。

以上から、理論可視衛星数のみを用いてドローンの飛行可能性を判断することは困難であり、地形・遮蔽物、観測時刻による衛星配置、および機体固有の受信条件を考慮する必要があると考えられる。また、予備実験においてAndroid端末の測位衛星数とMavic 2 Zoomの受信衛星数に正の相関が確認されたことから、Android端末の測位衛星数はドローンのGNSS受信状況を評価する簡易的な指標として利用できる可能性がある。

5. 今後の取り組み

今後は、設定した3つの仮説を検証するため、以下の取り組みを行う。

まず、地形の影響を定量化する。RICOH THETAを用いて測定地点の全天球画像を取得し、Pythonによる画像処理によって天空率を算出する。後藤

(2000)は全天写真の透過率と衛星信号のSN比との間に統計的に有意な関係(回帰式の危険率0.5%未満, $N=8931$)があることを示している³⁾。

本研究においても、天空率と実測衛星数との関係を回帰分析によって定量化するとともに、天空率だけでは説明できない影響を明らかにするため、全天球画像から得られる遮蔽物の方向・種類と、衛星の方位・仰角との関係を分析する。

次に、観測時刻による衛星配置の影響を検証する。同一地点において一定期間連続して観測を行い、時刻ごとの衛星配置と実測衛星数の変化を比較する。また、1日あるいは1週間程度の連続観測データを取得することで、特定地点における衛星配置の時間変化を把握し、地形による遮蔽と時刻による衛星配置の影響を分離することを目指す。

さらに、ドローン固有の受信条件を検討する。Android端末およびドローンについて衛星数だけでなく、可能な範囲で衛星ごとのSNRやDOP等の受信品質を取得し、測位に利用される衛星の選択条件を比較する。これにより、単純な衛星数では捉えられない受信品質の低下を評価する。

また、現在の理論可視衛星数では仰角5°を閾値としているが、低仰角衛星では信号品質が低下する可能性があることから、理論衛星数算出システムに仰角閾値をユーザが任意に変更できる機能を実装する。複数の仰角閾値について理論衛星数と実測値との乖離を比較し、実測環境をより適切に表現できる条件を検討する。

謝辞

本研究への千歳市消防局の皆さまのご協力に感謝いたします。

文献

- 1) DJI.”Mavic 2 - 製品情報 - ”. <https://www.dji.com/jp/mavic-2/info/>,(参照 2026-07-03)
- 2) ACSL.”小型空撮ドローン (SOTEN)”. <https://product.acsl.co.jp/product/post-369/>,(参照 2026-07-03)
- 3) 後藤純一, 齋藤卓也, 他. 遮蔽物の透過率に基づく森林地帯におけるGPS電波の受信可能性. 森林学誌. 2000, 15(1), p. 11-18.

悪天候による空港滞留の行動特性分析と早期行動支援インタフェースの検討

○佐藤 陽太, 曾我 聡起, 小林 大二(公立千歳科学技術大学理工学部)

Analyzing Behavioral Characteristics of Airport Stranding in Severe Weather and Exploring Interfaces for Early Action Support

Hinata SATO, Toshioki SOGA, Daiji KOBAYASHI

(Chitose Institute of Science and Technology, Faculty of Science and Technology)

1. はじめに

近年、気候変動の影響により異常気象が多く発生しており、冬季の北海道においては猛吹雪が交通機関に大きな影響を与えている。北海道の玄関口である新千歳空港では、冬季に航空便の遅れや欠航が頻繁に起こる。しかし交通の停止は空の便だけにとどまらず、航空便が停止するほどの悪天候の場合、空港と札幌市内を結ぶ JR や、バス、自動車道などの陸の交通機関も同時に運休や通行止めになることが多い。空の交通と陸の交通が同時に停止する事態が発生すると、空港から外へ移動する手段が失われ、数千人規模の利用者が空港のターミナルビル内に長時間足止めされる大規模な滞留が発生する可能性がある。これは移動スケジュールの遅れという問題だけでなく、利用者の混乱などを引き起こす社会問題となっている。

2. 課題と研究の目的

複数の情報源を逐次確認する行動は利用者の認知資源を圧迫する。そこで気象と交通インフラの状況を 1 画面に統合し、視覚的に分かりやすく提示するダッシュボードを用いれば、認知負荷を下げて意思決定の遅れを防ぎ、空港での大規模な滞留を緩和できるのではないかと仮説を設定した。課題に対するアプローチとして、まずは気象と交通のデータを統合して提示するダッシュボードを試作し、情報提示のあり方を模索する。さらに、スマートフォンの位置情報データを用いて平常時と滞留発生日の状況を比較し、人の動きにどのような傾向があるのかをデータから観察する。

3. ダッシュボードの試作

前章で述べた空と陸の交通インフラの停止状況をリアルタイムに提示する仕組みとして、本研究では ClarisFileMaker を用いてデータを統合したダッシュボードを試作した(図 1)。このシステムでは、6 つの外部データソース (AirLabs, METAR, TAF, 気象庁データ, 国交省 xROAD, JR 路線情報)を連携させている。状況を正確に判

定するため、各データには公的機関が定める客観的な基準を閾値として設定した。具体的には、気象庁が定義する「非常に強い風」の基準である風速 20m/s 以上 2)、寒地土木研究所が示すアクセス障害リスク基準である視程 50m 未満 3)などである。システムは、取得したデータが基準値を超えているかを自動で判定する。試作版は、判定結果に基づく色分けで空と陸の交通状況を 1 画面に統合表示する。この直感的な UI により、利用者の認知負荷を下げ、行動開始の遅れを防ぐことを目的としている。



図 1 試作したダッシュボード例

4. 位置情報データを用いた分析

本研究が対象とする「空港での滞留」の実態について、その傾向を客観的なデータから確認するため、2025 年 2 月, 6 月, 8 月の計 3 ヶ月間の人流データ(agoop 社)を用いて分析を行った。前処理として千歳市民のデータを除外し、図 2 に示すような、JR, バス乗り場, 駐車場, ターミナルといった主要エリアごとにポリゴンを設定した。そして、個人の位置移動の軌跡をリストにし、ターミナル内での滞在時間のみを抽出した。



図2 設定したエリア

また、この3ヶ月間のデータから求めた推計捕捉率は約5.07%であり、データの構造的限界を踏まえて全体の傾向把握を目的とする。次に抽出データから利用者の移動傾向を分析した。図3および図4を比較すると、平常時は季節を問わずJR線が空港アクセスの主軸であるのに対し、滞留発生時(2月11日～13日)の推移では11日の午後以降、バス等による流出機能のみが低下し、JRによる流入が継続しており、ターミナル内に人が滞留し蓄積していく不均衡な状態が明確に把握できた。さらに JMP でターミナル内の滞在時間を目的変数とする重回帰分析を実施した。平常時は視界が悪化するほど滞在時間が延びたが、2月12日は視程のパラメータがプラス(+17.65)に転じ、天候回復後に滞在時間が延びる結果となった。前日からの滞留者と新規利用者が合流し許容量を超えたためと推察される。今後はこの知見をもとにダッシュボードを、実態に即した UI へ反映する。

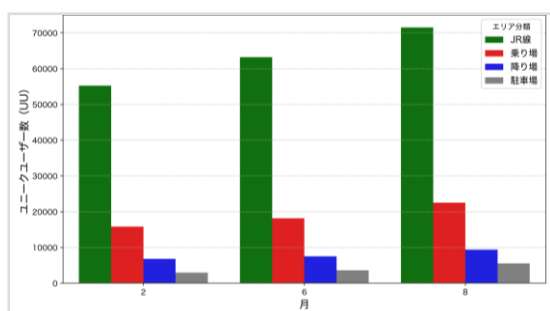


図3 交通機関別・月別の人流比較

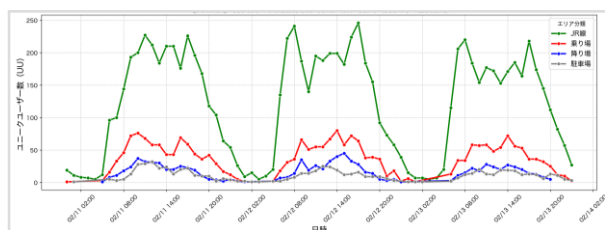


図4 滞留発生時(2月11日～13日)における交通機関別の人流の連続推移

5. 終わりに

新千歳空港周辺の広域な人流データを活用した交通・防災の把握は容易ではなく、実用化に向けてはまだ長い道のりがある。今後はより実態に即した運用を目指し、空港関係者や宿泊施設への調査や、各情報を個別に確認する従来群とダッシュボード利用群の A/B テストを実施し、認知負荷を検証していく。

文献

- 1) 畠山久・永井正洋・室田真男,「自分事化を目指す ICT 活用型防災教育」, Computer&Education, vol.60, 2026.p.18-23
- 2) 気象庁. “風の強さと吹き方”. 入手先: https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kaze.html, (参照 2026-08-27).
- 3) 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所. “吹雪の防災情報”. 入手先: <https://www2.ceri.go.jp/snowstorm/>, (参照 2026-08-27)

事務職場の温熱環境の実態調査

○石上 温(産業医科大学)
前田 紗良(産業医科大学)
穴見 優佑(産業医科大)
樋上 光雄(産業医科大学)

A Survey of Thermal Conditions in Office Workplaces

Atsushi ISHIGAMI (University of Occupational and Environmental Health),
Sara MAEDA (University of Occupational and Environmental Health),
Yu ANAMI (University of Occupational and Environmental Health),
Mitsuo HINOUE (University of Occupational and Environmental Health)

1. はじめに

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象の影響により、夏季の気温は上昇傾向にある。これに伴い、屋外作業だけでなく、屋内の労働環境においても高温化が進んでいる。厚生労働省の報告によると、職場における熱中症は毎年発生しており、死亡災害も継続的に報告されている(図1[1])。2025年は死傷者数1,803名、内死者数19名であり、死者数の中で3人の被災場所は屋内であったと報告されている[1]。そのため、熱中症は屋外作業に限らず、屋内作業(事務職場等)でも発生することが知られている。

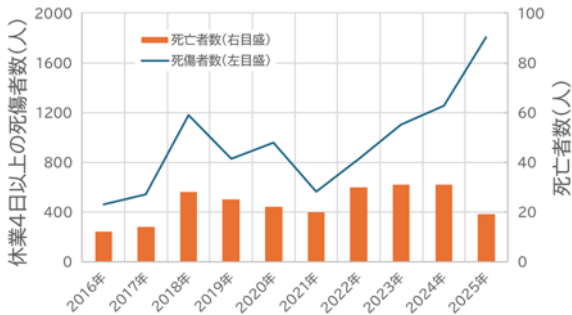


図1 熱中症の死傷者数と死亡者数の推移

一般に、事務職場は空調設備により快適な環境(室温18度から28度、湿度40%から70%)が維持されていると考えられているが、実際には建物の構造的要因、例えば断熱性能の不足や窓からの日射の影響、空調設備の能力・老朽化・運用状況によって、室温が上昇するケースがある。加えて、近年の節電対策などにより、空調設備の使用が制限される場合もあり、これらの要因が重なることで、事務職場においても高温環境下で業務が行われている可能性がある。さらに、熱中症のリスク評価には湿球黒球温度(Web Bulb Globe Temperature; 以下WBGT)が用いられるが、事務職場においてはこのような指標に基

づく評価が十分に行われていないのが現状である。

したがって、事務職場における温熱環境の実態を把握し、適切に評価をすることが重要であると考え、本研究では、某大学事務職場での温熱環境の実態を調査・把握し、事務職場の熱中症対策の資を得ることを目的とする。

2. 方法

<測定項目と使用した機器>

事務所衛生基準規則より、測定項目を決定し、測定に使用する機器を選定した[2]。

表1 測定項目と使用する機器

測定項目	使用する道具
赤外線	Handheld Thermal Camera User Manual Eco Lite (HIKMICRO)
WBGT	熱中症指数モニター AD-5695DLB (イー・アンド・デイ)
温湿度	熱中症指数モニター AD-5695DLB (イー・アンド・デイ)

※赤外線は、熱源を調査するために使用予定。

<測定条件>

表2に示す条件で、測定を実施した。

表2 測定日時や測定場所について

測定日	測定項目	測定場所	空調機
2026/8/6 ～8/12	WBGT	事務局1階	労働者が 仕事中は稼働 (1階建)
		事務局2階	
	温湿度	キャリア支援課	
		(1階建)	

※測定位置については、業務の邪魔にならない範囲で平均なWBGTが測定できそうな箇所に設置。

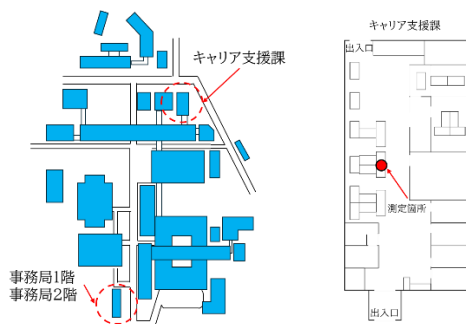


図2 測定場所について

<外気温・天候について>

気象庁のデータを参考に、大学から一番近い観測点のデータを使用する[3]。

3. 結果

図3に測定場所毎に測定したWBGTの結果を示す。今回測定した結果から、空調設備が稼働している間は、測定場所のWBGTが25℃を超えることは、ほぼなかった。

また、今回測定を実施した場所を比較すると、事務局2階のWBGTが最も高く、事務局1階のWBGTが最も低かった。

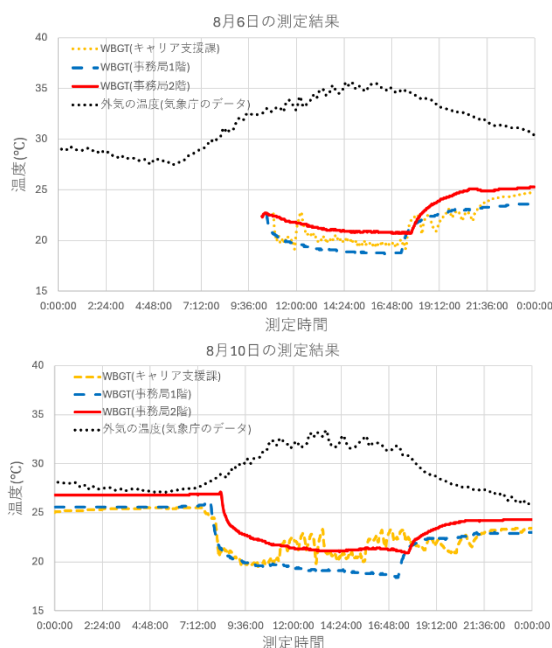


図3 WBGTの測定結果

4. 考察

今回の測定結果より、気温が約35℃以内であれば、空調が稼働している間は、熱中症が発生するリスクは低いと考えられる。しかし、今回の測定は、測定場所の平均なWBGTが測定できそうな箇所を実

施している。そのため、作業者の近くに熱源(コピー機、プリンタ、パソコン等)が多くある場合は、WBGTが高くなる可能性が推測される。そのため、次のステップとして、赤外線測定を行い、熱源の確認を実施して、WBGTが特異的に高い場所が無いのか検討を実施する。

また、今回の測定では、事務局1階と2階は同じ建屋であるにも関わらず、事務局2階のWBGTが高くなっていた。その理由として、図4に示す通り直射日光の影響で室内の温度が高くなり、WBGTが高くなると考えられる。しかし、キャリア支援課は、事務局1階と比較して、周囲に建物があり直射日光が当たりにくい構造になっているが、キャリア支援課の方がWBGTが高くなっていた。これは、図4に示す通り、キャリア支援課が今回測定した場所の中で湿度が最も高くなっていたため、温度が同程度でもWBGTが高くなっていると考えられる。

以上の結果より、事務職場の熱中症を評価するためには、温度だけではなく湿度について着目することが重要であること示唆される。

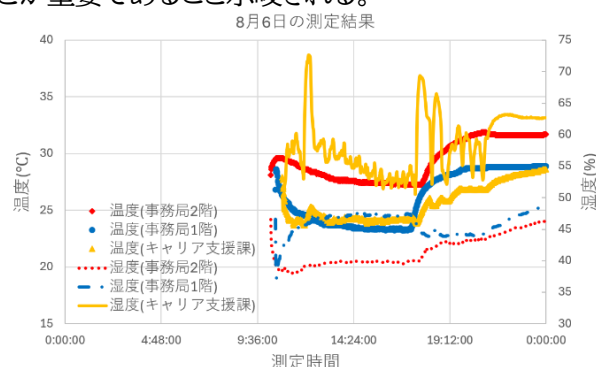


図4 温湿度の測定結果

文献

- 1) 厚生労働省(2025):職場における熱中症予防情報.令和7年「職場における熱中症による死傷者災害の発生状況(確定値)」。厚生労働省,
https://neccyusho.mhlw.go.jp/heatstroke/#sec01_04
(Accessed June 15,2026)
- 2) e-GOV法令検索(2022):事務所衛生基準規則.事務所衛生基準規則(昭和四十七年労働省令第四十三号).デジタル庁,
<https://laws.e-gov.go.jp/law/347M50002000043>
(Accessed June 15,2026)
- 3) 気象庁:過去の気象データ検索.国土交通省,
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etm/index.php>
(Accessed August 24,2026)

ポモドーロテクニックに適した休憩方法の検討

○山田 晋平(産業医科大学産業保健学部)

A Study on Break Methods Suitable for the Pomodoro Technique

Shimpei YAMADA (University of Occupational and Environmental Health, School of Health Sciences)

1. はじめに

デジタル技術の発展とリモートワークの普及により、学習や仕事の環境が大きく変化している。個人が自律的に作業計画を立てる機会が増加した一方で、集中力の維持や時間管理に苦慮する場合も少なくない。スマートフォンをはじめとする情報電子機器は、集中力を妨げ、休憩が本来の目的である心身の回復ではなく、無駄な時間の消費につながるリスクを高めている。このような状況において、長時間の作業によるストレスや疲労を軽減し、モチベーションや生産性を高めるためには、効果的な休憩のあり方を科学的に検討することが求められている。ポモドーロテクニックと呼ばれる25分間の作業と5分間の休憩を繰り返す作業時間の管理方法が注目されている。繰り返し行うことで仕事を先延ばしにするのを抑制する効果が報告されている¹⁾。実施時の作業成績、生理指標、主観指標への影響は十分に検討されていない。

ポモドーロテクニックにおいて、休憩の種類を(A)スマートフォンでの動画視聴、(B)ストレッチを実施、(C)瞑想(目を閉じて深呼吸)の3条件設定し、休憩の種類による効果の違いについて、作業成績、生理指標、主観指標を用いて比較検討することで、ポモドーロテクニックに適した休憩方法を検討することを目的とする。

2. 方法

本研究の対象は、心臓循環器系に既往症のない成人男性11人(22.4±0.2歳)である。実験参加者には事前に実験プロトコルを説明し、実験参加に対する書面による同意を得た。本研究は産業医科大学倫理委員会の承認を経た上で実施した(承認番号ER25-044)。実験に際しては、各種センサーと電極を装着し、実験環境に順応するための時間を10分から15分間設けた。実験手順は、作業前安静(5分間)から開始し、ポモドーロテクニックを用いての作業(25分作業と5分休憩)を4セット(計2時間)、作業後安静(10分間)の順で実施した。休憩条件は、(A)～(C)の3条件を設け、それぞれの実験は別日に実施

した。

- A) スマートフォン条件:スマートフォンを用い、動画サイトにてアニメーション作品(ドラえもん)を視聴した。日常的なデジタルデバイスによる情報刺激を模したものである。
- B) ストレッチ条件:座位のまま、肩や腕を中心とした軽度のストレッチを実施した。
- C) 瞑想条件:マインドフルネスの技法に基づき、座位にて目を閉じ、自身の呼吸に意識を向ける瞑想を実施した。

作業課題にはN-Back課題を用いた。一定間隔で提示される情報とN回前に提示された情報を比較する課題である。本実験では1桁の数字を呈示して、その和を暗算させた。2-Back課題を例に挙げて説明する。5秒ごとに1桁の数字をモニターに表示し、10秒前(N=2)に表示されていた数字と現在表示されている数字の和をテンキーで入力させた。負荷を一定に保つため、3条件の実験を行う前に、課題に習熟させた。難易度は、正答率が約80%から95%になるように、実験参加者ごとに2つ前(N=2)から4つ前(N=4)の間で調整を行った。

作業成績は、N-Back課題の正答率と未回答率をブロックごとに算出し、休憩条件(3条件)と時間経過(作業1～4の4ブロック)を要因とする2要因分散分析を実施した。

生理指標は、心電図、呼吸、皮膚組織血液量、瞬きについて、実験を通して連続で測定した。瞬きはWebカメラで撮影した映像から算出し、作業前安静、作業1セットから4セット目、作業後安静の6ブロックごとに平均値(回/分)を求めた。休憩条件(3条件)と時間経過(作業前安静、作業1～4、作業後安静の6ブロック)を要因とする2要因分散分析を実施した。心電図、呼吸、皮膚組織血液量は、1000Hzで記録したが、本稿では解析の対象から除外した。

主観指標は、自覚症しらべ(主観的疲労に関する質問紙)、NASA-TLX(作業負荷・負担に関する質問紙)、Flow State Scale(フロー(没頭し集中している状態)に関する質問紙)の3種類を評価させた。自覚症しらべは、休憩条件(3条件)と時間経過(作業前安静の後、4セット実施後、作業後安静の後の3時点)

を要因とする2要因分散分析を実施した。NASA-TLXとFlow State Scaleは、休憩条件(3条件)について一元配置分散分析を実施した。

3. 結果

3.1. 作業成績

N-Back課題の正答率、未回答率に関する2要因分散分析を実施した結果、休憩条件、時間経過、および交互作用の全てにおいて主効果は認められなかった(図1)。

3.2. 生理指標

瞬きは、休憩条件の主効果および交互作用は有意でなかったものの、時間経過の主効果が認められた。その後の検定の結果、作業後安静に比べて、作業1～4の瞬きが有意に増加していた(図2)。

3.3. 主観指標

自覚症しらは休憩条件の主効果は認められなかった。「ぼやけ感」および「不快感」において時間経過の主効果が認められ、作業前安静後に対して、作業後で有意に増加したが、作業後においても5段階評価で2未満であった(図3)。NASA-TLXおよびFlow State Scaleに関しては、休憩条件に主効果は認められなかった。

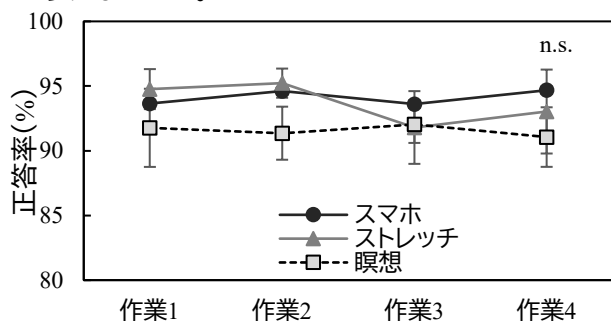


図1 N-Back課題の正答率の推移

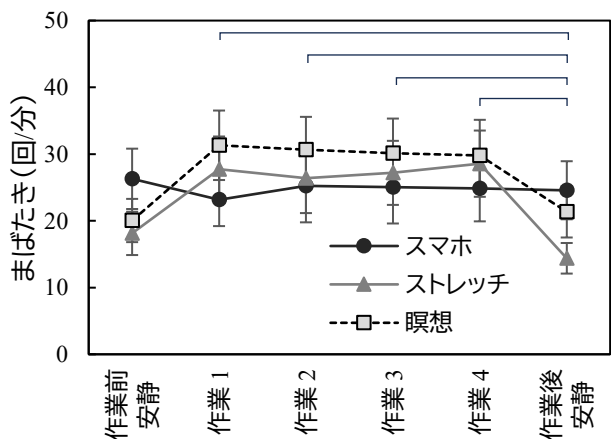


図2 瞬きの推移

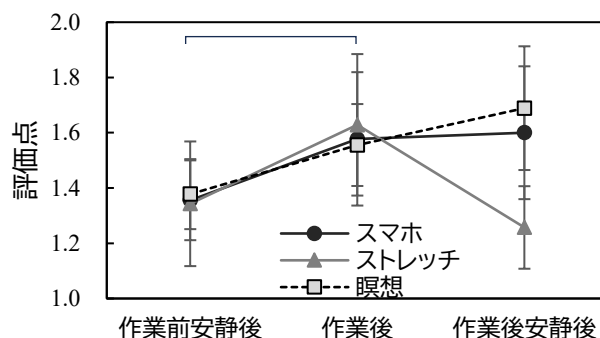


図3 不快感の推移

4. 考察

作業成績、生理指標、主観指標のすべての指標において、休憩の種類の違いによる主効果は認められなかった。25分間の作業と5分間の休憩を繰り返すサイクル中、まばたきの回数(図2)、主観的疲労とフロー状態といった心身の状態を示す指標には時間経過の有意な変化が認められたが、正答率と未回答率に時間経過による悪化が認められなかった。このことは、25分作業と5分休憩というポモドーロテクニックのサイクルそのものが、疲労や集中力の変動を補償し、パフォーマンスを維持することに有効であった可能性が考えられる。休憩条件に有意差が現れなかった理由としては、N-Back課題で生じる負荷が不十分であり、パフォーマンスが下がりにくかったことと、休憩の種類による効果の差がポモドーロテクニックのサイクルによる作業成績の回復量に対して小さかった可能性が考えられる。

5. 結論

本研究では、ポモドーロテクニックの休憩において、休憩の種類(スマートフォンでの動画視聴、ストレッチ、瞑想)による作業成績、生理指標、主観指標への有意な差は認められなかった。自覚症しらのぼやけ感と不快感に作業による訴えの増加が認められたが、作業後においても5段階評価で2程度と軽微であった(図3)。また、作業成績の低下は確認されなかった。ポモドーロテクニックにおける有効な休憩について検討できなかったが、ポモドーロテクニックは、疲労感の増加を抑え、パフォーマンスを維持させる効果がある可能性が示唆された。

文献

- 1) Cirillo, F. The Pomodoro Technique: The Acclaimed Time-Management System That Has Transformed How We Work. Crown Currency, 2018, 159.

身体能力の個人差に応じた許容作業強度の推定

○川崎 佑太, 泉 巖, 於本 裕之介, 栗野 晃希, 前田 大輔(北海道立総合研究機構)

Allowable Workload Estimation adapted to Individual Differences in Physical Ability

Yuta KAWASAKI, Iwao IZUMI, Yunosuke OMOTO, Koki KUWANO, Daisuke MAEDA

(Hokkaido Research Organization)

1. はじめに

近年, 少子・高齢化の進行とともに人手不足が深刻化しており, 高齢者は労働力として不可欠な存在となっている。しかし, 高齢者は若年者に比べて労働災害のリスクが高い¹⁾ことから, 作業現場では入念な作業強度の管理が求められる。こうした作業管理には, 無理なく作業を継続できる作業強度(以下, 許容作業強度)を越えないようにすることが有効である。しかし, 許容作業強度は各個人の身体能力に応じて異なる。そのため, 安全な作業の実現には各個人の許容作業強度を適切に把握する必要がある。

このような許容作業強度の把握に用いる有力な指標の一つに, AT(無酸素性作業閾値)が挙げられる。しかし, ATを判定するには大がかりな設備が必要で, 計測コストが高い。さらに, ATの判定には高強度運動を伴う試験が必要であり, 特に高齢者にとって身体的リスクが大きい。また, 年齢と安静時の心拍数からATを簡易的に推定する既存の手法(カルボーネン法など)では身体能力の個人差への対応に限界があり, その推定精度には課題がある。

本研究では, これらの課題を解決するため, 低強度の運動を行ったときの心拍数の応答に着目し, ATを簡単かつ個人差に応じて精度よく推定する手法の開発に取り組んだ。なお, 本研究で実施した実験は北海道立総合研究機構の内部規定に基づき人間工学実験倫理委員会の承認を得たうえで実施した。

2. 新たなAT推定手法に関する仮説と検証試験

一般に, 身体能力が高い人は標準的な人に比べて安静時心拍数が低く, AT時の心拍数が高い²⁾⁻³⁾。そのため, 安静時心拍数からAT時の心拍数までの幅が大きいと考えられる。また, 身体能力の高い人は標準的な人に比べて同一の運動を行ったときの心拍数の上昇幅が小さい⁴⁾。以上のことから, 身体能力の高い人は標準的な人に比べて同一の運動を行ったときの心拍数とAT時の心拍数の差が大きい(図1)と考えられる。この仮説が成り立つならば, 安

静時の心拍数と, 低強度運動に対する心拍数の応答から, AT時の心拍数を推定できる可能性がある。

この仮説を検証するため, 本研究では, ATの判定に広く用いられるエルゴメータを用いた漸増負荷試験を実施した。被験者は30代~50代の健康な男性4名とした。被験者は着座にて5分間安静にさせた後, 低強度の運動として踏み台昇降運動(20 回/分, 高さ200 mm)を5分間実施し, 安静時ならびに低強度運動時の心拍数について, 平均値を記録した。その後, 自転車エルゴメータ(E200K・COSMED社製)を用いて漸増負荷を課しながら, 被験者の呼気ガスと心拍数を計測した。さらに, 呼気ガスの計測結果から呼吸商(酸素摂取量と二酸化炭素排出量の比)が増加し始める点をATの基準として判定を行い, AT時の酸素摂取量と心拍数を記録した。なお, 呼気ガスの計測にはポータブル呼吸代謝計測装置(K5・COSMED社製)を使用し, 心拍数の計測にはウェアラブル心拍計(Ignite3・polar社製)を使用した。

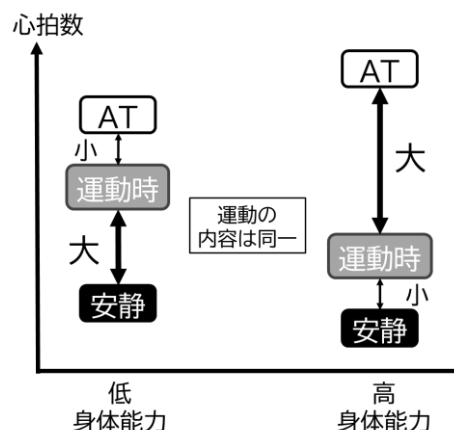


図1 運動に対する心拍数変動の個人差 (イメージ)

3. 試験結果および推定式の開発

各被験者の計測結果を表1, 2に示す。また, 漸増負荷試験で取得した心拍数について, 低強度運動時と安静時の心拍数の差と, AT時と低強度運動時の心拍数の差について分析を行った。その結果, 両

者に相関関係を見出すことができた(図2)。

この関係を利用し、安静時心拍数 HR_{rest} と低強度運動時心拍数 HR_{light} からAT時心拍数 HR_{AT} を推定する式を下式のように構築した。

$$HR_{AT} = -0.597HR_{light} + 1.597HR_{rest} + 49.27$$

表1 各被験者のAT時の酸素摂取量

No.	AT時の酸素摂取量 [mL/kg/min]
1	16.62
2	15.43
3	27.37
4	9.63

表2 各被験者の心拍数

No.	心拍数 [bpm]		
	安静時 (平均)	低強度運動時 (平均)	AT時
1	78.0	110.2	107
2	65.5	99.3	97
3	78.2	91.6	102
4	71.0	98.3	109

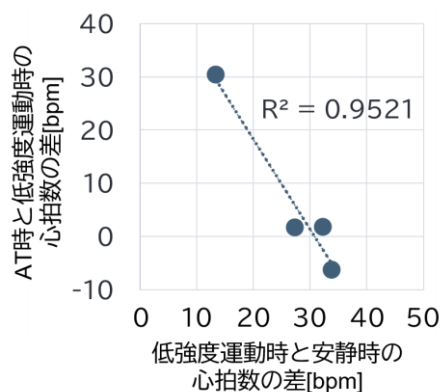


図2 心拍数の差の関係

4. 推定式の精度検証

開発した推定式の労働現場における活用を目指し、現場作業を想定した模擬草刈作業試験によりAT時心拍数の推定精度を検証した。被験者は漸増負荷試験時と同一の30代～50代の健康な男性4名とした。模擬草刈作業では、電源が入らないようにした充電式草刈機(MUR185SDF・マキタ社製)を被験者に持たせ、草刈機を左右に振りながら一定距離を往

復歩行する運動を課した。試験中は、漸増負荷試験と同様に呼気ガスと心拍数の計測を実施した。

AT時の心拍数を安静時と低強度運動時の心拍数から、推定式により推定した。また、比較対象はカルボーネンの式において運動強度を50%として推定した心拍数(以下、「既存手法」)を用いた。それぞれの心拍数に到達したときの酸素摂取量を、漸増負荷試験で取得したAT時の酸素摂取量の実測値と被験者毎に比較した。各手法における実測値との誤差の平均値を図3に示す。検証の結果、開発手法による推定結果の方が誤差は小さく、ばらつきも少なかった。以上のことから、開発手法は既存手法よりも身体能力の個人差に対応し、精度よくATを推定できることを確認した。

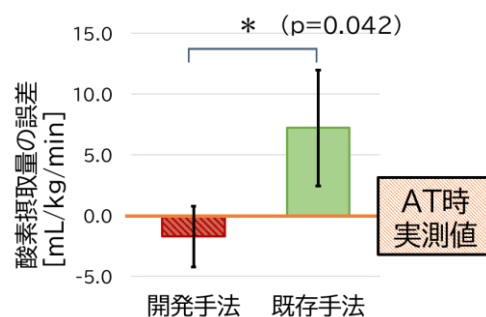


図3 推定精度の検証結果

5. おわりに

本研究では、安静時と低強度運動時の心拍数から、精度よくAT時の心拍数を推定する式を構築した。今後は、他の作業現場を想定した試験や、被験者の属性を拡大した試験を実施し、推定手法の有効性を検証する。

文献

- 1) 厚生労働省 令和6年 労働災害発生状況について. 2025,
- 2) Ghosh, A. K.; Anaerobic Threshold: Its Concept and Role in Endurance Sport: Malaysian Journal of Medical Science. 2004, 11(2), p.24-36
- 3) Messonnier, L. A.; Emnhoff, C. W.; et al. Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men, Journal of Applied Physiology. 2013, 114(11), p.1593-1602
- 4) Choudhary, S.; Kumar, J.; et al. Effect of Aerobic Exercise on Cardiovascular Parameters in Untrained and Trained Subjects: Scholars Journal of Applied Medical Sciences. 2015, 3(2), p.538-542

光電式容積脈波から得られる指標の検討

—脈波伝播時間から血圧推定およびストレス誘発血管反応指数—

○三宅 晋司(公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科)

Indices from photoelectric plethysmogram

—Estimation of systolic blood pressure and Stress-Induced Vascular Response Index—

Shinji MIYAKE (Chitose Institute of Sci. & Tech., Graduate School of Sci. & Tech.)

1. はじめに

光電式容積脈波(以下, 脈波)の振幅は末梢血管収縮を反映し, α 交感神経活動の指標である。その振幅は解析区間の標準偏差SDで代替できることを報告した¹⁾。一方, 脈波には多くの情報が含まれており, 本研究ではそれらの情報から得られる指標について検討した。

2. 方法

脈波と心電図から脈波伝播時間PTTが推定でき, その逆数から推定される脈波伝播速度PWVから次式により収縮期血圧SBPを推定できる²⁾。

$$SBP = \frac{\beta PWV^2}{2\rho}$$

ここで, β は血管硬さ, ρ は血液密度である。ストレス負荷により血管収縮が起きると血管は固くなり, また血液組成も変化するが, それらの変化の影響は少ないと仮定し, 本研究ではこれらを定数(=1)とした。心電図R波から脈波のピークまでの時間をPTTとすると, それにはQ波が出現してから左室から血液が駆出されるまでの時間(前駆出期間PEP)が含まれるため, このPTTを用いたPWVの推定値は実際より遅くなる。インピーダンス心電図ICGを用いればPEPを推定できるが, それは簡単ではないので, 本研究では計測しやすいR波からピークまでの時間を計測し, ICGを用いた過去の計測よりPEPをRR間隔の0.15倍と仮定した(図1)。PWVは脈波経路長をPTTで割ったものであるが, 経路長は一定であるので, これも定数(=1)とすると, SBPはPWV²に比例するため, PWV²をSBPの等価量と仮定できる。

Zhangら³⁾は脈波波形をピーク前後で分け, ピーク前面積をV1, ピーク后面積をV2としてStress Induced Vascular Response Index: sVRIをV2/V1で定義し, 振幅よりも良好な指標であると報告している。本研究では図2に示すように脈波の立ち上がり点を結んだ線を基準として, V1とV2を計測してsVRIを算出した。

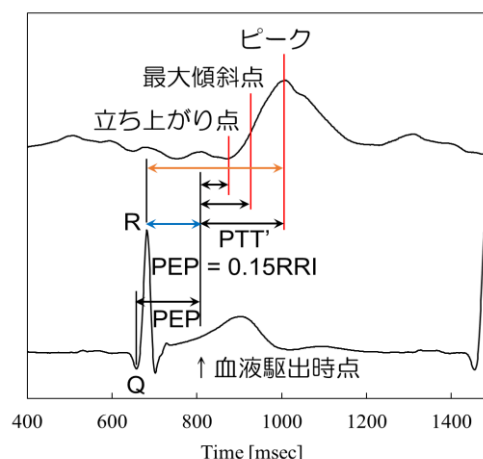


図1 脈波伝播時間(ピークまでの時間を使用)

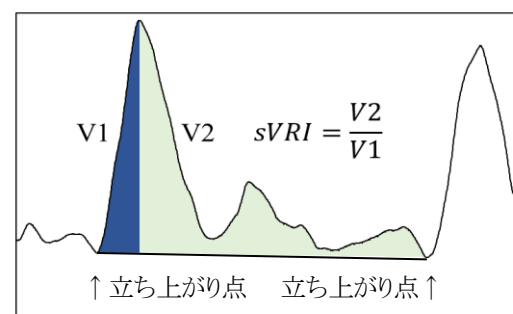


図2 sVRIの算出

34名の成人男性を実験参加者として, 安静REST, 5秒毎に問題が出題されるマシンペースの暗算MA, 埋め込み図形テストEFT, 鏡映描写課題MTの各5分間について, 上述のPWV²とsVRIを算出し, 脈波標準偏差PTG SD, 連続血圧計によるSBP, RR間隔(RRI), RR間隔ポアンカレプロットのSD1とSD2, 心拍変動性スペクトル高周波数成分HF, 皮膚伝導水準SCLの各指標の変化と比較した。またMTは心拍低下をもたらすパターン2反応を誘発する課題であり, 心拍低下時の他の指標の動態も観察した。

解析では体動等による脈波および連続血圧波形にゆがみおよび異常値のない18名分を対象とした。本実験は3期に亘って実施しており, 1期目の実験で

はSCLを計測していないので、SCLのデータは12名である。有意差検定では、4ブロックのデータについて実験参加者毎に標準得点化して多重比較を行い、Holm法による調整された p 値を算出した。

3. 結果

図3a~cに各指標の標準得点の平均値±SEを示し、多重比較結果を表1に示した。

1. PWV², SBP, SCL, PTG SD(図3a)は極めて類似した変化を示し、いずれも交感神経活動を表す。
2. sVRIとPTG SD(図3b)も類似した変化を示しており、sVRIの方が p 値が小さく、またPTG SDでは有意差が認められなかったMAとMTの間にも有意差が認められており、Zhangら³⁾の報告のように、振幅よりも感度が高い指標といえる。
3. SD1, SD2, HFは類似した変化を示すが、RRIはMAでRESTに比べて有意な低下とMTで有意な増加(心拍数低下)を示した(図3c)。

4. まとめと考察

1. PWV²はSBPと変化が類似しており、SBPの代用指標となる。したがって、連続血圧より簡便に計測できる脈波から動脈圧受容体反射感受性BRSを推定できる可能性があり、BRSは副交感神経活動の指標であることから、その有用性は高い。また、本研究では $PEP = 0.15RRI$ と仮定したが、その妥当性も確認された。
2. sVRIは脈波振幅より感度は高いと思われるが、その算出の面倒さと体動等による波形の乱れによる異常値を除外する必要がある、同等の変化を示し、かつ算出が極めて簡単なPTD SDの方が有用性は高いと思われる。
3. MTにおいて副交感神経亢進による心拍低下と交感神経亢進による脈波振幅低下、血圧上昇、発汗上昇の方向分留が生じており、パターン2反応を誘発するMTの特異性が確認された。ただし、MTにおいてHFの有意な上昇は認められていない。

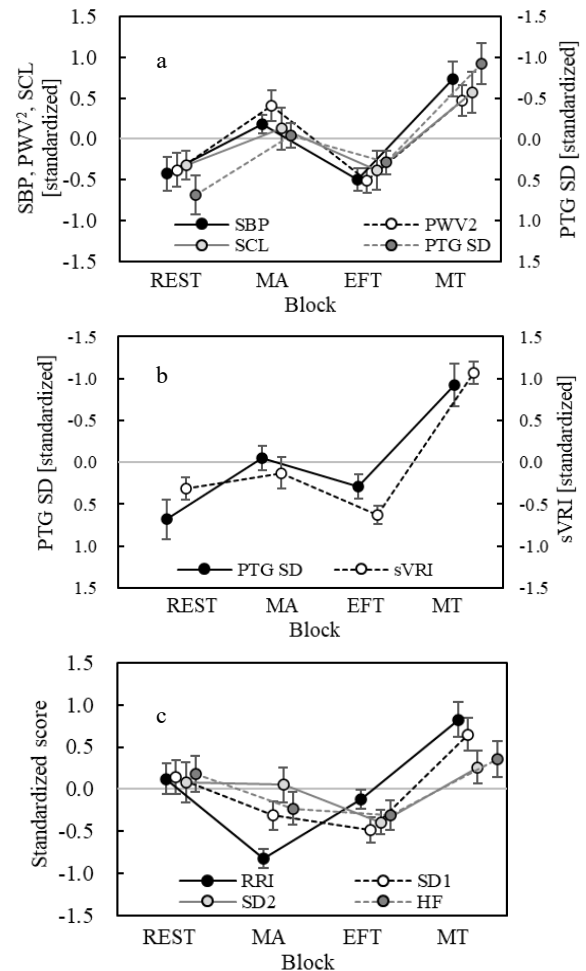


図3 各指標の標準得点の平均値±SE

文献

- 1) 三宅晋司:脈波振幅の標準偏差による簡易指標の妥当性. 令和4年度日本人間工学会北海道支部大会講演集. 2022, p.23-26.
- 2) 加藤雄樹他:足底からの心血管系生理情報計測によるヘルスケア機器実現に向けた基礎的検討. 生体医工学. 2012, 50(1), p.23-30.
- 3) Zhang, X.; Lyu, Y.; et al. Evaluating photoplethysmogram as a real-time cognitive load assessment during game playing. Int'l J of Human - Computer Interaction. 2018, 34(8), p.695-706.

表1 多重比較結果の調整された p 値(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Pair	PWV ²	SBP	SCL	PTG SD	sVRI	RRI	SD1	SD2	HF
REST-MA	0.0848	0.0454 *	0.8585	0.1127	0.4816	0.0451 *	0.5745	1.9472	0.7767
REST-EFT	1.3640	0.8269	0.9252	0.2158	0.2379	0.7694	0.3571	0.3843	0.4599
REST-MT	0.0680	0.0366 *	0.0455 *	0.0132 *	0.0001 ***	0.0468 *	0.2300	0.9943	1.2573
MA-EFT	0.0105 *	0.0155 *	0.8013	0.2042	0.2824	0.0287 *	0.4365	0.2934	0.7915
MA-MT	0.8589	0.1665	0.6993	0.0720	0.0033 **	0.0000 ***	0.0383 *	1.0000	0.4690
EFT-MT	0.0108 *	0.0011 **	0.1875	0.0123 *	0.0000 ***	0.0145 *	0.0002 ***	0.4154	0.3322

特別講演

「歩行の口ツカー機能を補助する短下肢装具の開発
—補装具と人間工学の接点—」

春名 弘一 先生（北海道科学大学）

司会：倉岡 宏幸（公立千歳科学技術大学）

歩行のロッカー機能を補助する短下肢装具の開発 —補装具と人間工学の接点—

○春名弘一(北海道科学大学保健医療学部理学療法学科)

Development of Ankle-Foot Orthoses Assisting Gait Rocker Functions

: An Interface between Orthotics and Ergonomics

Hirokazu HARUNA

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Hokkaido University of Science

1. はじめに

人間工学は「道具や環境を人に合わせる」ことで安全・安心・快適・健康を実現しようとする学問である。一方、補装具学は障害により低下した機能を「道具によって補う」ことを目的とする。出発点は異なるものの、両者はいずれも人と道具・環境との相互作用を扱い、床反力・関節モーメント・エネルギー効率といった人体バイオメカニクスの指標を共通言語として設計と評価を行う点で、方法論的に極めて近接した領域である。

本講演では、正常歩行の推進に不可欠でありながら片麻痺歩行で最も破綻しやすいフォアフットロッカーに着目した装具開発を紹介する。メカニズム解明を担った Heel Upper Spring AFO(以下、HUS-AFO)^{1,2)}から、その知見を実用化につなげた Reverse Omega Shoe Insert(以下、ROSI)^{3,4)}へ、さらに使用者のアドヒアランス評価⁵⁾へと展開してきた流れを示し、補装具研究と人間工学との接点を議論したい。

2. なぜフォアフットロッカーなのか

正常歩行の立脚期では、ヒールロッカー、アングルロッカー、フォアフットロッカーの3つのロッカー機構が連続して働き、身体重心の前方移動と推進力生成を担う⁶⁾。なかでもターミナルスタンス(TSt: Terminal Stance)に相当するフォアフットロッカーは、単脚支持期に踵が離床し前足部を回転中心として下腿が前傾するイベントであり、股関節伸展モーメントと前方床反力の生成に寄与する。

脳卒中片麻痺者では、下腿三頭筋の遠心性制御能力の低下と足関節底屈モーメント不足により、麻痺側単脚支持期で踵が離床せずTStが消失する⁶⁾。しかし既存の短下肢装具(Gait Solution, RAPS等)が補助するのはヒールロッカーとアングルロッカーまでであり、フォアフットロッカーを能動的に補助する装具は存在しなかった¹⁾。ここが筆者らの開発の出発点である。

3. メカニズムの解明:HUS-AFO

HUS-AFO(図1)は、足部に4節リンク構造のエネルギー蓄積機構を内蔵し、単脚支持期の踵挙上をアシストする短下肢装具である^{1,2)}。側方に配

置された線形圧縮バネが立脚中期から後期の荷重で最大10mm圧縮しエネルギーを蓄積する。

本装具の核心は、仮想的な回転軸(HUS軸)を通常のMP関節軸より近位に設定した点にある。立脚後期に床反力作用点(COP: Center of Pressure)が前方へ移動してHUS軸を超えた瞬間、蓄積されたバネエネルギーが解放され、踵挙上トルクが発生する。

カーボン支柱の撓みによる反発など足関節への介入では、閉鎖性運動連鎖により下腿を後方に倒す力しか生まないのに対し、MP関節部への力学的介入により下腿を前傾させながら踵を挙上できる点に新規性がある¹⁾。健常者²⁾および脳卒中片麻痺者¹⁾を対象とした三次元動作解析によりTStの出現が確認され、3つのロッカー機能をすべて補助する装具として設計思想の妥当性が示された。



図1. HUS-AFO デバイスの概要

4. 実用化への展開:ROSI

HUS-AFOによりフォアフットロッカー補助の力学的条件は明らかになったが、装具の耐久性や装着継続性に課題が残った。そこで得られた知見をもとに、既存の短下肢装具に追加可能な

ROSI(図2)を開発した^{3,4)}。ROSIは熱可塑性カーボンで成形された逆Ω形状を有し、舟状骨直下(MP 関節より近位)に頂点を配置して装具と靴の間に挿入する。

興味深いのは、当初の想定と実際の作用機序が異なっていた点である。当初はカーボンの反発力が踵挙上を直接アシストすると考えていたが、検証の結果、荷重応答期には荷重によりカーボンがフラットに撓んで立位安定性を確保し、抜重期には逆Ω形状が復元して仮想的な回転軸(ROSI軸)が一時的に出現すること、すなわち荷重状態に応じて回転軸を出現・消失させCOPを制御することで、間接的に踵挙上を誘導するデバイスであることが明らかになった³⁾。脳卒中片麻痺者18名の検証では、ROSIと背屈制動付き短下肢装具の併用によりTStの割合が約1.3-1.5倍に増加し⁴⁾、既存装具に簡便に追加できる実用的なデバイスとしての有用性が示された。

5. 使い続けられる装具へ:アドヒアランス

支援機器の臨床効果は継続使用を前提とするため、機能的有用性に加えて使用者のアドヒアランス評価が不可欠である。筆者らはROSIユーザを対象に、ロイヤリティ指標と使用体験の質的分析による混合研究を実施した⁵⁾。その結果、主観的な歩きやすさ・安定感の効果量が客観的歩行指標を上回り、不安定感や左右非対称感がロイヤリティの分岐要因となることが示された。力学的に有効であることと、使用者が使い続けたいと感じることは必ずしも一致しない。この知見は、装具設計において使用者の主観的体験や道具への信頼感を評価することの重要性を示している。

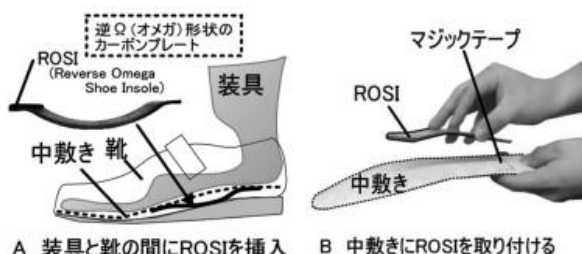


図2. ROSIデバイスの概要

6. おわりに —補装具技術の人間工学への還流—

本講演では、フォアフットロッカーを補助する装具として、メカニズム解明を担ったHUS-AFOと、その実用化であるROSIを紹介する。これらの装具は、片麻痺者の推進力確保とつま先クリアランス獲得により転倒リスクを低減し、日常生活活動や社会参加、さらには就労の継続を支えることを

目的としている。

同時に、こうした技術が対象とする範囲は障害を有する人に限られないのかもしれない、とも考えている。歩行の推進効率を高め、疲労や転倒のリスクを下げるという課題は、長時間の立位・歩行を伴う労働者や高齢就労者にも共通する。補装具の開発で得られたバイオメカニクスの知見が、健常者を含む働く人々の環境設計へ還流していく可能性について、本講演では一つの問題提起として提示し、会場の皆様と議論できれば幸いである。

文献

- 1) 昆恵介, 春名弘一, 中井要介, 他. フォアフットロッカー機能を支援するHUS-AFOの開発と評価. 日本義肢装具学会誌. 2022, 38(4), p. 318-324.
- 2) 春名弘一, 昆恵介, 佐藤健斗, 他. フォアフットロッカーを補助する短下肢装具の開発と健常者を対象としたパイロットスタディ. 支援工理学療法学会誌. 2022, 1(1), p. 9-14.
- 3) 昆恵介, 春名弘一, 佐藤健斗, 他. 脳卒中片麻痺者に対するエネルギー蓄積型シューインサートの開発と評価. バイオメカニズム. 2023, 26, p. 55-64.
- 4) 森嘉裕, 昆恵介, 安彦かがり, 他. Reverse Omega Shoe Insert (ROSI) と短下肢装具の併用による立脚終期増加要因の検討と歩行パラメータへの影響. 日本義肢装具学会誌. 2025, 41(1), p. 48-55.
- 5) 佐藤健斗, 昆恵介, 春名弘一, 他. Reverse Omega Shoe Insert ユーザの初期ロイヤリティに関する混合研究. 日本人間工学会第67回大会, 2026.
- 6) Perry J, Burnfield JM. Gait Analysis: Normal and Pathological Function. 2nd ed. Slack Incorporated, 2010.

特別セミナー

**「人間中心設計(Human Centered Design)の基礎
—人間中心設計と人間工学の位置づけ—」**

水本 徹 先生（株式会社 島津製作所）

司会：倉岡 宏幸（公立千歳科学技術大学）

人間中心設計(Human Centered Design)の基礎

—人間中心設計と人間工学の位置づけ—

○水本 徹 (人間中心設計推進機構, (株)島津製作所)

Introduction to Human Centered Design

—The Positioning of Human Centered Design and Human Factors and Ergonomics—

Toru MIZUMOTO (Human Centered Design Organization, Shimadzu Corporation)

1. はじめに

「人間中心設計(Human Centered Design:HCD)」と「人間工学(Human Factors/Ergonomics)」は、どちらも人間を中心に考え、製品やサービスをより良いものにするを目的としている。そのため、両者の違いが明確ではないと感じることも多いであろう。

人間中心設計はISO 9241-210で示されており、ユーザー調査によりユーザー特性や利用状況を把握し、ユーザーの要求事項を明らかにして設計仕様を決定し、その要求事項を満たしていることを評価する。評価によって要求事項を満たしていないことが明らかになった場合には、設計を見直し、改善を繰り返すプロセスである。一方、人間工学は、人間の生理的・心理的・身体的特性などを対象とし、人間と製品・システム・環境との関係を考える専門領域である。

本稿では、人間中心設計の概要とそのプロセスを述べた上で、人間工学を「人間中心設計と同じような広い概念」として捉える場合と、「人間中心設計における解決案を検討するための専門領域」として捉える場合の二つの側面から、両者の位置づけについて整理した。なお、ISO 9241-210は主としてインタラクティブシステムを対象としているが、本稿では、同規格に示された考え方を製品やサービス開発に応用できる人間中心設計の基本的な枠組みとして説明する。

2. 人間中心設計とは

従来の製品開発では、企業が何を提供したいか、技術的に何が実現できるかという視点から設計が始まることが多かった。しかし、このような作り手側の視点だけでは、特にコモディティ化した業界においては、ユーザーにとって本当に価値のある製品やサービスを生み出すことは難しい。そこで人間中心設計では、ユーザーが「どのような状況で利用するのか」「どのようなことに困っているのか」「どのような体験を望んでいるのか」といった背景を理解する

ことから始める。それにより、従来見落とされていたユーザーの困りごとを発見できれば、競合との差別化につながる可能性がある。

人間中心設計は、単に製品の機能や性能を向上させるのではなく、ユーザーを深く理解し、ユーザーが製品やサービスを利用することによって得られる経験・体験(User Experience:UX)をより良いものにするを目指す。

3. 人間中心設計プロセスの流れ

人間中心設計の特徴は、ユーザー調査を基にユーザーを理解し、要求事項を満たす設計を行い、その結果を評価するという活動を繰り返しながら、製品・サービスを改善していくことにある。ISO 9241-210では、人間中心設計のプロセスとして、主に「利用状況の把握と明示」「ユーザーの要求事項の明示」「設計による解決案の作成」「要求事項に対する設計の評価」のステップが示されている。

3.1 利用状況の把握と明示

最初に、対象となるユーザーと、そのユーザーが製品やサービスを利用する状況を理解する。例えば、インタビュー、アンケート、行動観察などを用いて、ユーザーが誰なのか、どのような環境で利用するのか、どのような行動を取るのかなどを調査する。重要なのは、最初から調査方法を決めてしまうのではなく、まず「分かっていること」と「分かっていないこと」を整理し、何を明らかにする必要があるのかを考えることである。それにより、仮説検証に留まらず、新たな仮説を発見することができる。

3.2 ユーザーの要求事項の明示

次に、調査によって得られた情報を分析し、ユーザーの要求事項を明らかにする。ここでは、単に「この機能が欲しい」という要望を集めるのではなく、その背景にある困りごとや目的、期待する体験などを捉えることが重要である。その上で、ユーザーにとって価値のある体験を見いだすことが求められる。

そのためには、前ステップの調査において、ユーザーの実態を深く捉えておかなければならない。い

いわゆるGIGO(Garbage In, Garbage Out)の考え方に示されるように、入力される情報の質が悪ければ、いくら時間をかけて分析したとしても、良い分析結果は出ない。

3.3 設計による解決案の作成

明らかになった要求事項を基に、具体的な解決案を検討する。この段階では、いきなり完成した製品を作るのではなく、プロトタイプなどを用いてアイデアを具体化し、ユーザーにとって望ましいものになっているかを確認しながら設計を徐々に詳細化していく。

しかし、要求事項を実現する製品・サービスを具体化することは容易ではない。創造的な検討が必要であり、その過程は設計者の経験や能力に依存しやすい。この部分は、人間中心設計の基本的なプロセスだけでは具体的な方法が十分に示されていない領域である。

3.4 要求事項に対する設計の評価

最後に、作成した解決案をユーザーの視点から評価する。例えば、ユーザビリティ評価では、ヒューリスティック評価、認知的ワークスルー、ユーザビリティテストなどの方法が用いられる。評価によって問題が明らかになった場合には、再び利用状況や要求事項を見直し、設計を改善する。

4. 人間工学の位置づけ

前述のとおり、人間工学と人間中心設計の関係を考えると、両者には重なる部分がある一方、それぞれ異なる側面もある。本稿では、人間工学を、人間中心設計と共通する考え方として捉える側面と、人間中心設計に活用できる専門領域として捉える側面の二つに分けて整理する。

4.1 人間中心設計と共通する考え方としての人間工学

人間工学を広義に捉えると、人間の特性と、人間が関わる製品・システム・環境との相互作用を明らかにし、安全性、効率、使いやすさ、快適性などの向上を目指す学際的な領域である。この意味では、人間工学と人間中心設計は非常に近い概念として捉えることができる。どちらも、作り手の都合だけで設計するのではなく、人間の特性や利用状況を理解し、それを設計に反映することを重視している。

4.2 人間中心設計に活用できる専門領域としての人間工学

一方で、人間工学をより具体的な専門領域として

捉えると、人間中心設計のプロセスの中で活用できる、解決案を検討するための知識や方法と位置づけることができる。

人間中心設計の「設計による解決案の作成」ステップにおいて、ユーザーの要求や利用状況を設計へとつなげるためには、分析結果から具体的な解決案へと発想を飛躍させることが必要となる。この部分は、人間中心設計では手順が示されておらず、設計者の経験や知識に依存しやすく、属人的になる恐れがある。

設計案の検討にあたっては、人間工学の専門的な知識や方法を活用することで、人間の生理的・心理的・身体的特性などを踏まえた具体的な解決案を導くことができる。例えば、身体寸法を考慮して製品の大きさや操作部の位置を検討したり、視認性を考慮して表示方法を検討したり、人間の認知特性を踏まえて操作方法を設計したりすることが挙げられる。

人間工学は、3.3節で述べた要求事項から具体的な解決案への発想の飛躍を支える専門領域の一つとして位置づけることができる。

5. まとめ

このように考えると、人間中心設計と人間工学は、明確に切り分けられるものではない。人間中心設計は、ユーザーや利用状況を理解し、要求を明らかにし、設計・評価・改善を繰り返していくプロセスである。一方、人間工学は、人間の特性に関する専門的な知識や方法を扱う領域であり、それらを設計の具体化に生かすことができる。両者を組み合わせることで、ユーザーの要求や利用状況を捉えるだけでなく、人間の特性を踏まえて、より具体的で妥当性のある解決案を検討することが可能になる。

文献

- 1) 人間中心設計推進機構Webページ.人間中心設計(HCD)について. <https://www.hcdnet.org/hcd/>, (参照 2026-8-24)
- 2) 日本人間工学会Webページ.人間工学とは. <https://www.ergonomics.jp/outline.html>, (参照 2026-8-24)
- 3) ISO 9241-210:2019, Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems

一般セッション II

【一般セッション II】

座長 小林 大二（公立千歳科学技術大学）

1. エキセントリック運動に特化したトレーニングマシンの開発
—ダンベルアームカールを対象として—
○田村 寛貴（北海道科学大学）
2. 超小型モビリティの乗り心地制御システム
—マスキング手法を用いた快適性評価に関する基礎検討—
○山下 善弘（北海道科学大学大学院）
3. インホイールモータを用いた電動車いす
—躍度を考慮した安全設計に関する基礎検討—
○出川 奏楽（北海道科学大学大学院）
4. 筋電義手の快適性制御に関する研究
—心理状態を考慮した動作閾値に関する基礎検討—
○松田 孝太郎（北海道科学大学大学院）
5. シニアユーザーを対象としたユーザビリティ評価の実践
—BtoB製品 2つの事例から得られた知見—
○吉見 邦子（(株)島津製作所）
6. 視線情報を用いた心理的レジリエンス推定
—スマートフォンへの実装と推定精度の検討—
○小谷 賢太郎（関西大学）
7. AIの社会受容性に関する人間工学的課題
○福住 伸一（産業技術総合研究所）

エキセントリック運動に特化したトレーニングマシンの開発

—ダンベルアームカールを対象として—

○田村 寛貴(北海道科学大学), 柴田 啓介(酪農学園大学), 山口 太一(酪農学園大学)
浪花 啓右(北海道科学大学)

Development of a Training Machine Specialized for Eccentric Exercise

—Targeting Dumbbell Arm Curls—

Hiroki TAMURA (Hokkaido University of Science)

Keisuke SHIBATA(Rakuno Gakuen University)

Taichi YAMAGUCHI (Rakuno Gakuen University)

Keisuke NANIWA(Hokkaido University of Science)

1. 緒言

筋力トレーニングは、健康増進および疾病予防といった効果を有することから、老若男女を問わず推奨されている¹⁾。その筋力トレーニングの動作は、ダンベルなどの器具を挙上させるコンセントリック運動と、ゆっくりと降下させるエキセントリック運動から構成される(図1)。このうちエキセントリック運動は、コンセントリック運動と比較して筋肥大や筋力増大効果が高いことが報告され^{2,3)}、エキセントリック運動のみで負荷をかけるトレーニングが提案されている⁴⁾。しかしながら、エキセントリック運動のみで負荷をかける筋力トレーニングを行うためには、コンセントリック運動を担う補助者が必要であるため、トレーニング実施者一人では行えないという課題がある。そこで、コンセントリック運動を補助するマシンがあれば、エキセントリック運動のみで負荷をかける筋力トレーニングを一人で行うことが可能となる。

本研究では、エキセントリック運動のみで負荷をかける筋力トレーニングを一人でも実施可能にするために、ダンベルの挙上動作を補助者に代わって実施するマシンの開発とその評価を目的とする。筋力トレーニングの種目は、肘屈曲筋群の鍛錬種目であるダンベルアームカールとする。ダンベルアームカールは、単関節種目であることから技術的要素が少ないことや、負荷重量が比較的軽いため、研究の初期段階における運動として適切と考え、選定した。ダンベルを挙上させる方法として、空気圧で稼働するエアシリンダを用いることとした。

2. トレーニングマシンの構造

アームカールにおいて、ダンベルを挙上するトレーニングマシンの構想と組み上げた実験機を図2に示す。エアシリンダが緑矢印方向へ稼働することで、ダンベルが挙上、すなわちコンセントリック運動を担うという仕組みである。このトレーニングマシンを開発するためには、大きく分けて、アルミフレーム

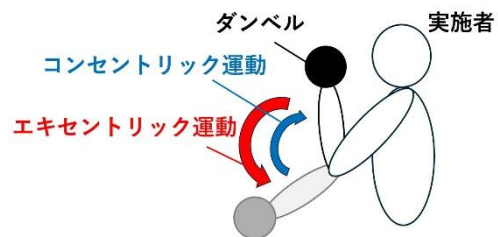


図1 エキセントリック運動とコンセントリック運動の概略

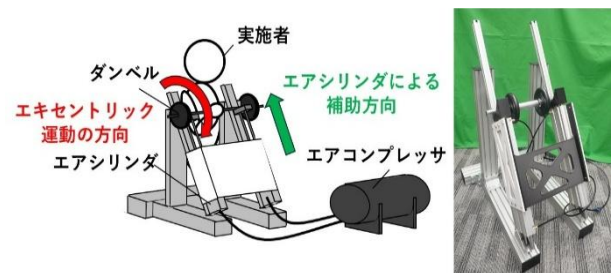
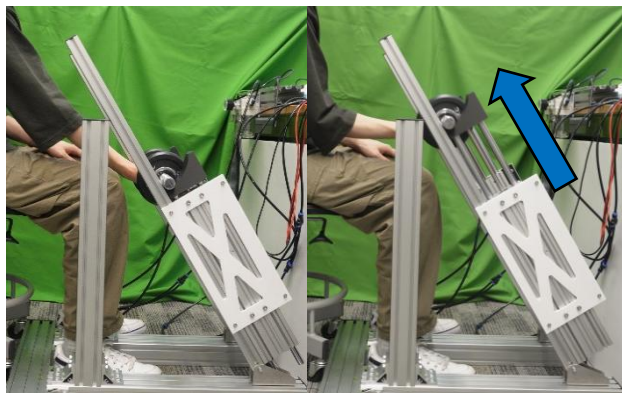


図2 トレーニングマシンの構想と実験機

とエアシリンダから成る実験機と、エアコンプレッサ等、エアシリンダを稼働させるための空気圧回路を設計する必要がある。

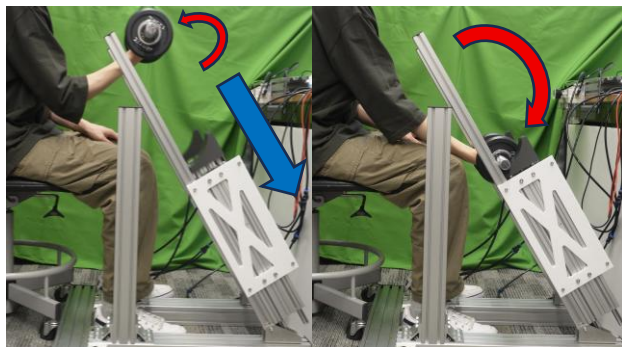
2.1 実験機の構造

実験機はアルミフレームを用いて製作した。アルミフレーム同士の接続にはブラケット、アルミフレームとエアシリンダの接続には3Dプリンタで制作したパーツを用いた。また、エアシリンダを接続しているアルミフレームにはフリーブラケットを用いており、使用者によって角度を変更することができる。しかし、使用角度によってはダンベルが落下する可能性があるため、ダンベルの落下を防止する部品を3Dプリンタで製作した。トレーニングマシン使用時は椅子に座った状態を想定しており、実験機全体の大きさは690 mm×600 mm×800 mmとした。



(a)開始前

(b)上昇中



(c)エキセントリック運動開始 (d)エキセントリック運動終了

図3 トレーニングの過程. 青矢印はエアシリンダの稼働方向を示し、青矢印はダンベルの稼働方向を示す。

2.2 空気圧回路の構造

エアシリンダを作動させる空気圧回路は、エアコンプレッサ、電空レギュレータ、電磁弁およびエアシリンダで構成している。エアコンプレッサは圧縮空気の製造、電空レギュレータは空気圧の調整、電磁弁は空気の流れのON・OFF切り替えの役割を担っている。

電磁弁に電圧を加えるとエアシリンダが作動し、ダンベルが持ち上げられ、マシンがコンセントリック運動を担う。一方、電圧を取り除くとエアシリンダが下降し、実施者がダンベルを下ろすエキセントリック運動を行うことができる。

3. トレーニングの過程

現在までに、製作した実験機と空気圧回路を組み合わせ、トレーニングマシンとして使用できる状態まで完成させた。実際に組み上げたマシンで行ったトレーニングの過程を図3に示す。(a)はトレーニング開始前であり、エアシリンダは作動していない。(b)では電磁弁に電圧を与え、エアシリンダを作動させる

ことで、ダンベルが上昇する。(c)では、エアシリンダが最大まで上昇した後、電磁弁から電圧を取り除き、エアシリンダを下降させている。この時、実施者はダンベルを自身で持ち、ダンベルを下ろすエキセントリック運動を開始する。(d)ではダンベルを下ろし切り、エキセントリック運動を終了している状態である。エアシリンダにダンベルを置くことで(a)と同じ状態になり、再び電磁弁に電圧を与えることでトレーニングを繰り返すことができる。

4. 今後の取り組み

今後は、組み上げたトレーニングマシンがエキセントリック運動に特化したものとなっているかを確認するため、筋電位測定システムを用いてトレーニング時の筋電位を測定する。複数名を対象としてデータを取得し、エキセントリック運動とコンセントリック運動のそれぞれの運動状態に応じた筋電位を見ることで、本マシンがエキセントリック運動のみを実施可能か検証予定である。

文献

- 1) Momma, H.; Kawakami, R.; et al. Muscle-strengthening activities are associated with lower risk and mortality in major non-communicable diseases: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *British journal of sports medicine*.2022, 56(13), 755-763.
- 2) Schoenfeld, B. J.; Ogborn, D. I.; et al. Hypertrophic effects of concentric vs. eccentric muscle actions: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017, 31(9), p. 2599-2608.
- 3) Spudić, D.; Nosaka, K. Eccentric-only versus concentric-only isokinetic strength training effects on maximal voluntary eccentric, concentric and isometric contraction strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine-open*. 2025, 11(1), p. 95.
- 4) Handford, M. J.; Bright, T. E.; et al. A conceptual framework of different eccentric training methods. *Strength & Conditioning Journal*. 2024, 46(2), p. 148-158.

超小型モビリティの乗り心地制御システム —マスキング手法を用いた快適性評価に関する基礎検討—

○山下 善弘(北海道科学大学大学院工学部)
内野 大悟(沼津工業高等専門学校機械工学科)
小川 和輝(愛知工科大学電子工学部)
遠藤 文人(福岡工業大学工学部)
加藤 太郎(東京工科大学工学部)
成田 正敬(東海大学工学部)
加藤 英晃(東海大学工学部)
池田 圭吾(北海道科学大学工学部)

Ride Comfort Control System for Ultra-Compact Mobility

—Basic Study on Comfort Evaluation Using Masking Method—

Yoshihiro YAMASHITA (Division of Mechanical Engineering, Hokkaido University of Science),
Daigo UCHINO (Mechanical Engineering, National Institute of Technology Numazu College),
Kazuki OGAWA (Faculty of Engineering, Aichi University of Technology),
Ayato ENDO (Faculty of Engineering, Fukuoka Institute of Technology),
Taro KATO (School of Engineering, Tokyo University of Technology),
Takayoshi NARITA (School of Engineering, Tokai University),
Hideaki KATO (School of Engineering, Tokai University),
Keigo IKEDA (Faculty of Engineering, Hokkaido University of Science)

1. はじめに

近年、高齢化社会の進展や環境負荷低減への関心の高まりを背景として、近距離移動を担う手軽な移動手段であるパーソナルモビリティの需要が増加している。パーソナルモビリティは図1に示すように小型・軽量であり、公共交通機関を補完するラストワンマイルの移動手段として期待されている。しかしながら、車体の小型化・軽量化に伴い、サスペンションや遮音構造などに十分な設計的余裕を確保することが困難であり、路面からの振動や走行音が乗員に直接伝達されやすいという課題がある。このため、従来の自動車と比較して乗り心地の悪化が懸念される。乗り心地の評価には、アンケートや官能評価などの主観評価手法が広く用いられてきた。しかし、主観評価は走行後に実施されることが一般的であり、運転中の乗員の心理状態をリアルタイムに把握することは困難である。また、同一の乗員であっても気分や体調によって感じ方は変化すると考えられる。そこで、当研究グループでは図2に示すような生体情報を用いた乗り心地制御システムを提案している¹⁾。緊張や不安などの心理的ストレス状態では、交感神経活動の亢進により心拍数の増加や発汗などの生理的変化が生じる。このような心理状態と生体



図1 超小型モビリティ

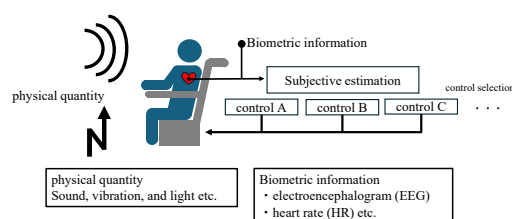


図2 乗り心地制御システム

情報の関係を利用することで、乗員の心理状態を客観的に評価することが可能となる。本システムは、音や振動などの物理的入力や乗員の心理状態に与える影響を、心拍や脳波などの生体情報を用いて計測・評価し、快適な環境を維持するものである。

本システムの構築にあたり、乗員の快適性を向上

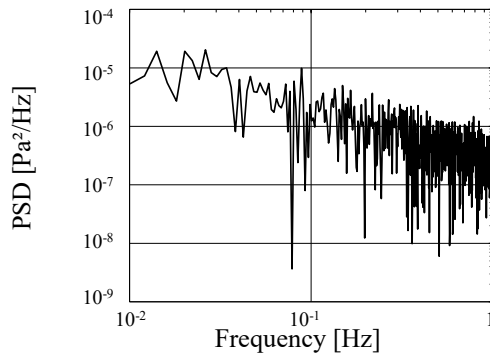


図3 ホワイトノイズに振幅ゆらぎを持たせた際の周波数特性

させる手法として、音によるマスキングに着目した。さらに、単に音をマスキングするだけでなく、人に心地良さを与えるとされる $1/f$ ゆらぎをマスク音に付加することで、より高い快適性の向上が期待できると考えた。そこで本検討では、車内の音環境を想定したロードノイズに対して $1/f$ ゆらぎを持つマスク音を付加し、その際の心理状態への影響を実験的に検討することで、ロードノイズに対するストレスの低減手法について考察することを目的とする。

2. $1/f$ ゆらぎの特徴を持つ音源

本実験では、振幅変化に $1/f$ ゆらぎの特性を持たせた音源を使用した。実験環境において当該音源を再生し、マイクロフォンにより音圧の変化を収録した。得られた音声データの振幅変化に対して周波数解析を行い、パワースペクトル密度(PSD)と周波数の関係を両対数グラフとして図3に示す。同図より、周波数の増加に伴いPSDが低下する $1/f$ ゆらぎの傾向が認められる。最小二乗法によりスペクトル傾きを算出した結果、傾きを表す係数の値は -0.88 となった。一般に、 $1/f$ ゆらぎはパワースペクトル密度が周波数に反比例する特性(傾き ~ -1)を持つとされており、本結果はこの条件をほぼ満たしている。したがって、実験に使用した音源は $1/f$ ゆらぎの特性を有していると判断できる。

3. 実験方法

本実験は、 $1/f$ ゆらぎの音圧変化を持つ音がマスキングとして効果的であるか検討することを目的とした。実験協力者に心電計を装着し、実験中の心拍変動を記録した。評価の際には、心拍変動から得られる自律神経の活動が反映されるLF/HFを用いた。交感神経と副交感神経の活動バランスを反映する

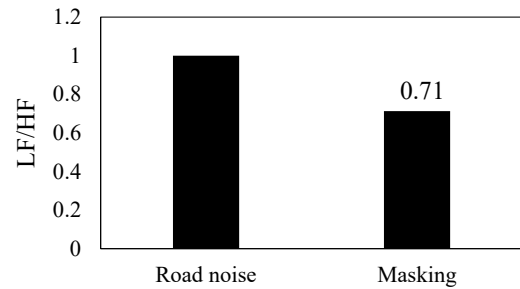


図4 ロードノイズとマスキングのLF/HFの比較

指標であるLF/HFが増加すると交感神経活動が優位となりストレス状態を示し、減少すると副交感神経活動が優位となりリラックス状態を示す。実験の流れとして、実験開始後、ロードノイズ(50dB)を120秒間提示し、その後、ロードノイズを提示した状態で $1/f$ ゆらぎのマスク音(約50dB)を追加して120秒間提示した。

4. 実験結果

実験結果を図4に示す。同図の左の棒はロードノイズ曝露時のLF/HFを示しており、この値を基準とし1とした。右の棒は、ロードノイズに対して $1/f$ ゆらぎによるマスキングを行った際のLF/HFを示している。マスキング時のLF/HFは0.71となり、ロードノイズ時に対して低下したことが確認された。

5. おわりに

本検討では、提案する乗り心地制御システムの構築に向け、快適性の向上に着目し、ロードノイズに対する $1/f$ ゆらぎを持つマスク音によるマスキング効果を生体情報により評価した。結果として、ロードノイズ単体での曝露時と比較して、 $1/f$ ゆらぎを付加したマスク音の提示時にはLF/HFの低下が確認された。このことから、 $1/f$ ゆらぎに基づく音の振幅変化が乗員の自律神経活動に影響を与え、心理状態をリラックス方向へ変化させたことが考えられる。

今後は、実験協力者数および実験回数を増やし、統計的検定によりストレス低減効果の有意性を検証する予定である。

文献

- 1) 加藤英晃, 石田勝樹, 増野将大, 成田正敬. 乗員の心理状態推定による乗り心地制御システムの提案. 日本機械学会論文集. 2015, 81(832), p. 15-00356.

インホイールモータを用いた電動車いす —躍度を考慮した安全設計に関する基礎検討—

○出川 奏楽(北海道科学大学大学院工学部)
内野 大悟(沼津工業高等専門学校機械工学科)
小川 和輝(愛知工科大学電子工学部)
遠藤 文人(福岡工業大学工学部)
加藤 太郎(東京工科大学工学部)
成田 正敬(東海大学工学部)
加藤 英晃(東海大学工学部)
池田 圭吾(北海道科学大学工学部)

Electric Wheelchair Using In-Wheel Motors

—A Fundamental Study on Safety Design Considering Jerk—

Sora DEGAWA (Graduate School of Engineering, Hokkaido University of Science),
Daigo UCHINO (Mechanical Engineering, National Institute of Technology Numazu College),
Kazuki OGAWA (Faculty of Engineering, Aichi University of Technology),
Ayato ENDO (Faculty of Engineering, Fukuoka Institute of Technology),
Taro KATO (School of Engineering, Tokyo University),
Takayoshi NARITA (School of Engineering, Tokai University),
Hideaki KATO (School of Engineering, Tokai University),
Keigo IKEDA (Faculty of Engineering, Hokkaido University of Science)

1. はじめに

少子高齢化の進行に伴い、個々人の自由な移動手段として、パーソナルモビリティの利用拡大が期待されている。その中でも、高齢者や身体機能が低下した人等が自由に利用できる移動手段として電動車いすが注目されている。しかし、電動車いす利用者を対象とした調査では、雪道やスロープなどにおける転倒やスリップなどの走行安全性への不安や、加速応答性が不十分であるといった乗り心地に関する課題が明らかになっている。これらの課題に対して、固定的な速度やモータ出力の制御では、常に変化する路面状態や乗員の心理状態に十分に適応することが困難である。したがって、走行環境や乗員の状態を考慮し、安全性と乗り心地をリアルタイムに向上させる制御が必要である。

そこで、図1に示すような電動車いす利用中の走行環境や乗員の心理状態に応じて、制御を最適化する切り替え制御システム¹⁾を提案している。本システムは、電動車いすの走行環境と乗員の心理状態を統合的に考慮し、モータ出力を調整することで、走行時の安全性と乗員の快適性を向上させるものである。また、本研究では走行安全性と乗り心地を評価する制御指標として車体の躍度²⁾に着目した。

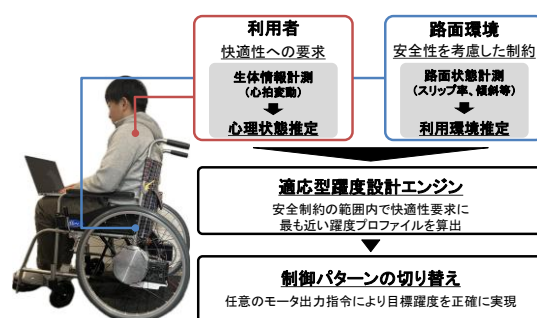


図1 切り替え制御システム

躍度は加速度の時間変化率を表しており、乗り心地に影響を与える物理量として、自動車や鉄道車両の加減速時にも考慮されている。電動車いすにおいても、躍度を走行環境や乗員の状態に応じて、適切に設計することで、安全性と乗り心地を両立した走行の実現が期待できる。

以上を踏まえ、まずは電動車いすの加速時に着目し、電動車いすに搭載したインホイールモータへの入力³⁾が、車体前後方向の最大躍度に与える影響を実験的に明らかにした。

2. 加速実験による車体躍度の検証

電動車いすの加速時において、インホイールモータ

タに与える入力に車体の最大躍度に与える影響を明らかにするため、実機を用いた加速実験を行った。加速実験では、電動車いすに搭載したインホイールモータに対して、図2に示すような傾きの異なる一次関数を入力として与えて、静止状態から約1m加速させた。また、傾きの小さい入力を入力A、傾きの大きい入力を入力Bとした。入力は電動車いすの車体速度が時速6kmを超えないように上限を設定した。

加速時の車体加速度とモータ角速度を、車体側面に取り付けた加速度センサと、車輪部分に取り付けたロータリーエンコーダによって記録した。躍度は加速度データを移動平均的に平滑化処理して、数値微分することで算出した。算出した躍度の絶対値を求め、その最大値を加速時における車体の最大躍度として評価した。

3. 結果

入力Aを与えた際の車体加速度および躍度を図3に、入力Bを与えた際の結果を図4に示す。図中の左縦軸は躍度、右縦軸は加速度を表しており、実線は躍度、破線は平滑化した加速度を示している。傾きの小さい入力Aでは、最大躍度が 0.31m/s^3 となった。傾きが大きい入力Bでは最大躍度は 0.58m/s^3 となった。このことから、加速時にモータに与える入力の傾きの違いによって、最大躍度が約1.9倍に変化することを確認した。

以上より、モータへの入力の傾きを変化させることで、電動車いすの加速時に生じる躍度を調整できることが示された。したがって、走行環境や乗員の心理状態に基づいて、目標とする躍度を設定し、それに応じてモータの入力を適切に設計することで、躍度を考慮した制御が可能になると考えられる。

4. おわりに

本研究では、電動車いすの乗り心地改善を目的として、乗り心地に影響を及ぼす物理量である車体の躍度に着目した。電動車いすの加速時において、モータへ与える入力の違いが、車体躍度に与える影響を実験的に明らかにした。その結果、モータへ与える入力の傾きによって、車体の最大躍度が約1.9倍に変化することを確認した。したがって、走行状態や乗員の心理状態に応じて入力を設計することで、加速時の躍度を調整できる可能性が示された。以上より、電動車いすの加速時における躍度を考慮した乗り心地改善手法に関する基礎的知見を得た。

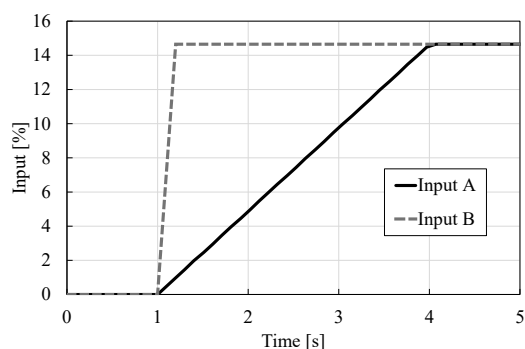


図2 モータへの入力波形

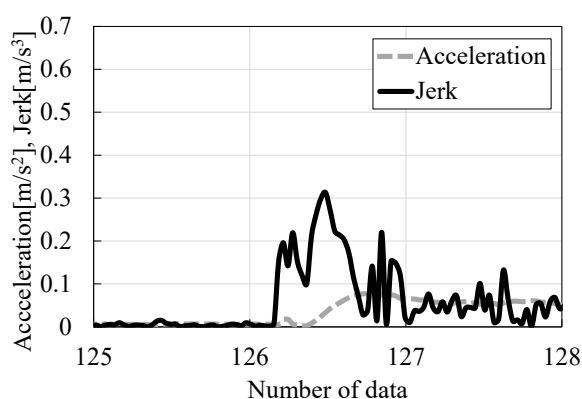


図3 入力Aの車体加速度および躍度

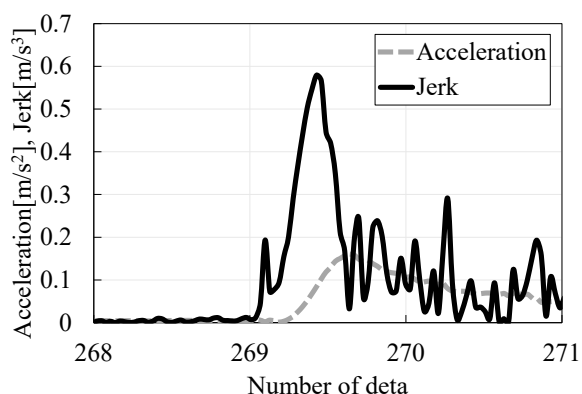


図4 入力Bの車体加速度および躍度

文献

- 1) 加藤英晃, 石田勝樹, 増野将大, 成田正敬. 乗員の心理状態推定による乗り心地制御システムの提案. 日本機械学会論文集. 2015, 81(832), p. 15-00356.
- 2) Ikeda, K.; Endo, A.; Minowa, R.; Kato, H. and Narita, T. A basic study on influence of jerk on riding comfort using active seat suspension for ultra-compact mobility. IOS Press. 2020, 64(1-4), p. 1505-1513.

筋電義手の快適性制御に関する研究 —心理状態を考慮した動作閾値に関する基礎検討—

○松田 孝太郎(北海道科学大学大学院工学部)

出川 奏楽(北海道科学大学大学院工学部)

内野 大悟(沼津工業高等専門学校機械工学科)

小川 和輝(愛知工科大学電子ロボット工学科)

遠藤 文人(福岡工業大学工学部)

加藤 太朗(東京工科大学工学部)

成田 正敬(東海大学工学部)

加藤 英晃(東海大学工学部)

池田 圭吾(北海道科学大学工学部)

Research on Comfort Control for Myoelectric Prosthetic Hands

—A fundamental study on Thresholds Considering Psychological States—

Kotaro MATSUDA (Graduate School of Engineering, Hokkaido University of Science),

Sora DEGAWA (Graduate School of Engineering, Hokkaido University of Science),

Daigo UCHINO (Mechanical Engineering, National Institute of Technology Numazu College),

Kazuki OGAWA (Faculty of Engineering, Aichi University of Technology),

Ayato ENDO (Faculty of Engineering, Fukuoka Institute of Technology),

Taro KATO (School of Engineering, Tokyo University of Technology),

Takayoshi NARITA (School of Engineering, Tokai University),

Hideaki KATO (School of Engineering, Tokai University),

Keigo IKEDA (Faculty of Engineering, Hokkaido University of Science)

1. はじめに

近年、身体障がい者の生活の質(QOL)向上を目的とした補助技術の研究・開発が進められており、筋電義手は上肢切断者にとって重要な支援機器として注目されている。しかし、日本国内における筋電義手の普及率は約2%と低く、その要因として操作の難しさや筋電信号の変動による誤作動などが挙げられる。従来の制御系では、固定的な閾値や単純なキャリブレーションが用いられることが多く、使用者ごとの体格差や心理状態といった個人差を十分に考慮できていない。また、緊張や疲労などの心理状態によって筋電信号が変動し、誤作動に繋がっていると考えられる。そこで、当研究グループでは、個人差を考慮した閾値制御システムの開発を提案している。システムの概要を図1に示す。本システムでは、筋肉量や筋電位といった体格差に加え、心拍変動や脳波などの生体情報を取得することで、ストレスやリラックス状態といった心理的要因も含めた総合的な評価を行い、使用者ごとに適切な動作閾値を決定する。これにより、急な心理状態の変動とそれによる誤作動に対応することができる。このシステ

ムを実現するにあたって、開閉閾値の違いが使用者の心理状態や実際の機能性、使用時の操作感にどのような影響を与えるのかを明らかにする必要がある。本研究では、その基礎的検討として、動作閾値の変化が使用者の心理状態、義手の機能性および主観的な操作感に与える影響を確認した。

2. BBTを用いた機能評価と主観評価

筋電義手の機能性を客観的かつ定量的に評価す

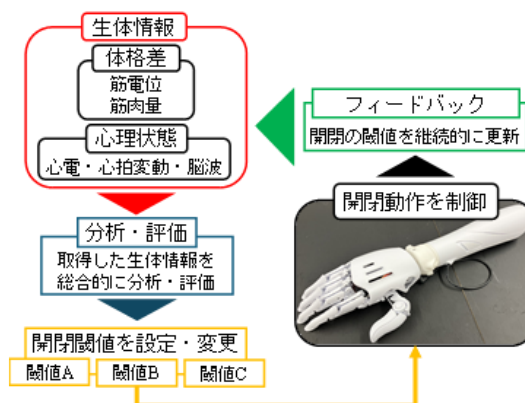


図1 個人差を考慮した閾値制御システム

るため、Box and Block Test(BBT)を用いた¹⁾。BBTの実験風景を図2に示す。BBTは、中央の仕切り板で二分された箱の一方からもう一方へ25 mm四方のブロックを移動させ、一定時間内に移動できた個数によって上肢の巧緻性を評価する手法である。また、操作感の主観的評価にはVisual Analogue Scale (VAS)を用いた。VASは、10 cmの直線上に主観的な感覚を記入させることで数値化する手法である。本実験では、「先ほど使用した筋電義手の操作感について教えてください」という質問を提示し、直線の左端を「イメージ通りに操作できる」、右端を「イメージ通りに操作できない」として、実験協力者が記入した位置までの距離を評価値とした。本実験では、開閉動作の閾値を10%～50%MVCの計5条件に設定した。各条件において操作練習、暗算タスク、BBTをこの順に実施し、操作練習の開始からBBT終了まで心電図を連続測定した。取得したR-R間隔(RRI)から心拍変動(HRV)解析を行い、LF/HFを算出することで心理状態を評価した。各条件の終了後には7分間の休憩を設け、同様の手順をもう一方の条件で繰り返した。

3. 結果

結果の一例として、開閉閾値10%および20%におけるLF/HFの変化率とBBTの結果を図3に、主観評価の結果を図4に示す。図3は、各閾値条件の暗算時のLF/HFを1としたときのBBT実施時における変化率を示しており、同図にBBTで移動できたブロック数も併せて示す。開閉閾値10%ではLF/HFが0.59まで低下したのに対し、開閉閾値20%では2.19となり、



図2 BBT実施中の風景

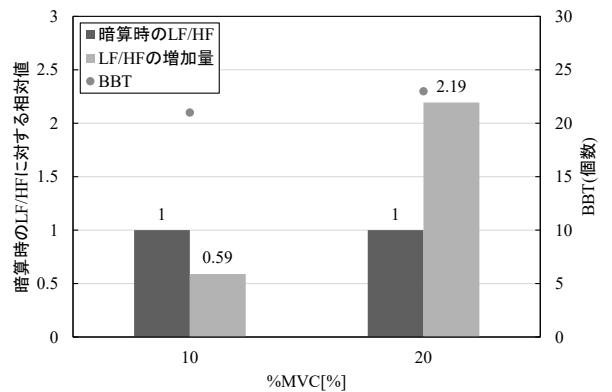


図3 各閾値におけるLF/HF増加率およびBBTの結果

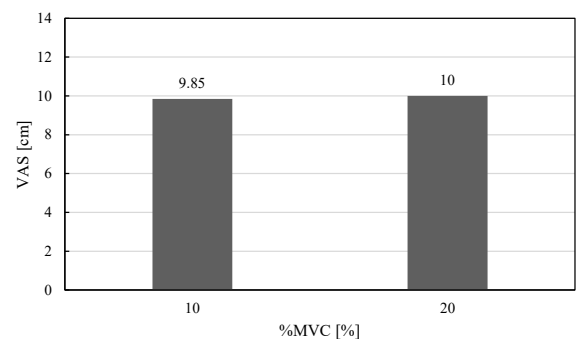


図4 各閾値における主観評価

増加が確認された。一方、BBTの移動個数は開閉閾値10%時に7個、40%時に5個であり、機能性に大きな差は見られなかった。図4は、各閾値条件における操作感を示す。操作感の開閉閾値10%時に9.85、20%時に10となり、大きな差は見られなかった。

4. おわりに

本研究では、動作閾値の変化が使用者の心理状態、機能性および操作感に与える影響を確認した。結果、BBTおよび操作感には閾値条件間で大きな差は確認されなかった一方で、閾値が高い条件ではLF/HFの増加が確認された。これらの結果から、動作閾値の設定が機能性や操作感よりも心理状態に影響を及ぼす可能性が示唆された。

文献

- 1) Mathiowetz, V.; Volland, G.; Kashman, N.; Weber, K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. Am J Occup Ther. 1985, p. 386-391.

シニアユーザーを対象としたユーザビリティ評価の実践

—BtoB製品 2つの事例から得られた知見—

○吉見 邦子((株)島津製作所)

水本 徹((株)島津製作所)

**Usability Evaluation with Senior Users:
—Insights from Two BtoB Product Case Studies—
Kuniko YOSHIMI (Shimadzu Corporation),
Toru MIZUMOTO (Shimadzu Corporation)**

1. 背景・目的

製品利用者の高齢化に伴い、シニアユーザーの身体的・認知的特性を考慮した製品設計の重要性が高まっている。特にBtoB製品では、製品操作だけでなく、専門的な業務知識や利用経験を踏まえた評価が求められる。一方で、実際の製品開発において、業務経験を持つシニアユーザーを評価協力者として確保することは容易ではない。本発表では、シニアユーザーの協力を得て実施した2つのユーザビリティ評価事例を紹介し、シニアユーザーによる評価を実現する方法と、その有用性について考察する。

2. シニアユーザーによる評価を実現する方法

評価協力者の確保にあたっては、評価対象や必要な専門性に応じて方法を選択した。事例1(ガスクロマトグラフの評価)では、企業OB・OGのクラブを活用し、製品や業務に関する経験を持つシニアユーザーに協力を依頼した。一方、事例2(医療現場で使用される回診用X線撮影装置の評価)では、社外のリクルート会社を通じてシニア層の放射線技師を募集した。また、同評価における患者役には企業OB・OGのクラブから協力者を募った。このように、製品や評価に必要な役割・経験に応じて、社内外の人的ネットワークを組み合わせることで評価を実施した。

3. 実践事例

事例1(ガスクロマトグラフの評価)では製品や業務への理解を持つシニアユーザー2名に、実際の分析やメンテナンスを行ってもらい、行動観察、アンケート、インタビュー等を組み合わせて評価した。事例2(医療現場で使用される回診用X線撮影装置の

評価)ではシニア放射線技師5名に装置の移動、操作、撮影、充電等を含む一連の作業を行ってもらい、行動観察、アンケート、インタビュー等を組み合わせて評価した。また、患者役には企業OB・OG 3名の協力を得ることで、医療従事者だけでなく、シニア患者の視点も含めた評価を行った。



図1 回診用X線撮影装置の評価(走行)



図2 回診用X線撮影装置の評価(撮影)

4. 結果・考察

2つの事例を通じて、シニアユーザーから、視認性、身体的負担、操作時の注意配分、認知・判断、実際の業務における工夫や戸惑いなど、利用場面に即した具体的な指摘を得ることができた。例えば、ガスクロマトグラフの評価では、若年層では身体能力やデジタル機器への慣れによって補完される可能性のあるUI上の問題が、シニアユーザーでは「見えにくい」「操作しにくい」「判断に迷う」といった具体的な行動として顕在化する場面が観察された。さらに、こうした操作上の小さな困難がエラーやヒヤリ・ハットにつながる可能性もあり、利用時のリスクを把握し、安全性を含めた利用品質を評価する上でも、シニアユーザーを評価対象に含める意義が示された。

また、回診用X線撮影装置の評価では、走行や撮影操作における「強く握る・押す」といった動作の負担、狭い場所を走行する際の装置と周囲の障害物への注意配分、画面表示における「どこを見ればよいか分からない」「記号の意味が分からない」といった戸惑いが確認された。さらに、実際の業務で培われた安全上の工夫や患者への配慮についても聞くことができ、身体能力や記憶・経験で補うことを前提としない設計の重要性が示された。

シニアユーザーによる評価は、長年の経験に基づく工夫や判断、製品の使いにくさを補うための対処方法など、経験豊富なユーザーならではの情報も得られる一方で、こうした経験や工夫によって使いにくさが補完されることで、アンケート等の主観評価だけでは課題が表出しにくい面もあった。そのため、行動観察やインタビューを組み合わせ、ユーザーが経験や工夫によって補完している「見えにくい使いにくさ」を捉えることが重要である。

これらの結果から、シニアユーザーによる評価は、単に「高齢者にとって使いやすいか」を確認するだけでなく、実際の利用状況において、ユーザーが目標をどの程度効果的・効率的に達成できるか、満足して利用できるか、また利用時のリスクが適切に抑えられているかといった、利用品質を捉える上でも有用であると考えられる。

一方で、シニア層は年齢だけで一括りにできず、身体能力、認知特性、製品への習熟度、業務経験等に大きな個人差がある。そのため、「シニアだから使いにくい」と単純化するのではなく、年齢による特性と個人の経験・習熟度、利用状況を考慮して評価結

果を解釈する必要がある。

また、シニアユーザーを起点として発見された課題への改善は、視認性の向上、操作フィードバックの充実、誤操作防止などを通じて、シニアに限らず幅広いユーザーの利用品質の向上にもつながると考えられる。

5. まとめ

シニアユーザーを対象とした2つのユーザビリティ評価を通じて、若年層では顕在化しにくい身体的・認知的な負担や利用時のリスクを発見するとともに、経験豊富なユーザーならではの業務上の工夫や具体的な改善要求を把握することができた。

特にBtoB製品では、製品や業務への理解を持つシニアユーザーを評価に参加してもらうことで、実際の業務文脈に即したユーザビリティ評価が可能となる。また、企業OB・OGのクラブや社外リクルート会社などを、評価対象や役割に応じて使い分けることで、必要な経験・専門性を持つシニアユーザーの協力を得ることができた。

これらのことから、シニアユーザーは「配慮すべき対象者」としてだけではなく、実際の利用状況における利用品質を評価するための重要な評価参加者と捉えることができる。シニアユーザーの身体的・認知的特性に加え、豊富な経験や専門性を評価に取り入れることで、実利用に即した課題を把握し、より多様なユーザーにとって、効果的・効率的で、満足度が高く、リスクを抑えた製品の実現につながると考える。

今後は、シニアユーザーを含む多様なユーザーを対象とした評価方法を整理し、製品開発における利用品質の向上と基準化につなげていきたい。

視線情報を用いた心理的レジリエンス推定

—スマートフォンへの実装と推定精度の検討—

○小谷 賢太郎, 朝尾 隆文, 鈴木 哲(関西大学システム理工学部)

Estimating Psychological Resilience Using Eye-Tracking Indexes

—Implementation on Smartphones and Evaluation of Estimation Accuracy—

Kentaro KOTANI, Takafumi ASAO, Satoshi SUZUKI

(Faculty of Engineering Science, Kansai University)

1. はじめに

うつ病などの精神障害の有病率が上昇する中、メンタルヘルスの問題を予防することは重要な社会的課題となっている。近年、ストレス下でメンタルヘルスを維持し、精神疾患から回復する能力である「心理的レジリエンス」が大きな注目を集めている。レジリエンスは一般的に自己記入式の質問紙で評価されるが、最近では、特に注意バイアスに基づいた客観的な評価方法が模索されている。

感情的な刺激に対して注意の割り当て方が異なる現象として定義される「注意バイアス」は、レジリエンスと密接に関連していると考えられている。視線計測は注意バイアスを評価するための直接的な方法であり、当研究室の先行研究では、ドットプロブタスク中にタブレット端末を用いて収集した視線データから、レジリエンスをある程度推定できることが示されている¹⁾²⁾。

しかし、タブレットはスマートフォンほど広く普及していないため、実用的視点からはスマートフォンによるレジリエンス推定が可能にすれば、レジリエンスの評価がより身近なものになる。一方で、スマートフォンは画面が小さいため、画像認識や視線行動に影響を与える可能性がある。そこで本研究では、スマートフォンを用いたレジリエンス推定の実現可能性を検証するとともに、刺激の提示時間を延長することで推定精度が向上するかどうかを検討する。

2. 実験方法

視線データから心理的レジリエンスを推定できるかを検証するため、スマートフォンを用いた視線計測システムを開発した。端末には iPhone 15 Pro Max を使用し、視距離(画面との距離)は 30 cm に固定した。視線計測および刺激提示のためのシステムは Xcode と Swift を用いて実装し、視線方向の推定にはアップル社の ARKit および SceneKit フレー

ムワークを組み込んだ(図1を参照)。刺激には、感情を伴う顔画像(KDEF)³⁾と情動画像(GAPED)⁴⁾の2種類の感情刺激を使用した。それぞれの刺激の提示時間を 3秒間 または 6秒間 とし、計4つの実験条件を設定した。

実験前に、参加者は中央の注視点をじっと見ること、頭を動かさないこと、そして各試行で提示される両方の画像を観察することについて教示を受けた。視線の検出可能性は、水平方向の視線座標をモニタリングすることで確認した。各試行は、中心の注視点が3秒間提示されることから始まる。最初の2試行はキャリブレーション(位置調整)として使用され、参加者は画面の両側に表示される黒いドットを注視した。その後の試行では、注視点が消えた後、画面の両側に感情刺激が同時に提示された。参加者は30試行にわたり刺激を自由視認した。すべての試行を終えた後、主観的なレジリエンススコアを得るためにレジリエンス質問紙に回答した。

視線データから心理的レジリエンスを推定するために重回帰分析を行った。質問紙に基づくレジリエンススコアを目的変数とし、以下の5つの注意バイアス指標を説明変数として用いた。First Fixation(最初の注視)Latencies(反応時間 / 潜時)Dwell Time(滞留時間)Frequency(注視頻度)Viewing Time(閲覧時間)これら5つの説明変数のすべての組み合わせを総当たり法で検証し、重回帰モデルを構築した。各実験条件における最適な回帰式は、自由度とモデルの複雑さを考慮した 自由度調整済み決定係数 (R_{adj}^2) に基づいて選択した。

3. 結果および考察

スマートフォンから収集した視線データを用いることで、レジリエンスを中程度に推定することが可能であった。3秒間の顔画像提示条件において比較的高い精度が示され、自由度調整済み決定係数 (R_{adj}^2) は 0.52 ($p = .0053$) であった。図2 は、感情画

像を3秒間提示した条件における、レジリエンス質問紙のスコアと推定されたレジリエンススコアの関係を示している。質問紙のスコアと推定値の間には、強い正の相関($r = 0.78$)が観察された。視線の特徴量の中では、注視頻度(Frequency)と閲覧時間(Viewing time)がレジリエンスと強い負の相関を示した。この結果は、スマートフォンベースの視線計測によってレジリエンスの傾向を推定できることを示している。レジリエンスが低い個人は、脅威刺激に対して回避行動を示しており、これは先行研究⁹⁾とも一致している。刺激の提示時間が与える影響は画像の種類によって異なり、顔画像では提示時間を長くしても精度の向上は見られなかったが、情動画像では提示時間の延長により精度が向上した。これは、情動画像の方が複雑であり、感情的な内容を解釈・処理するためにより長い時間を要するためであると考えられる。



図1 スマートフォンに実装したレジリエンス推定アプリを使用している様子

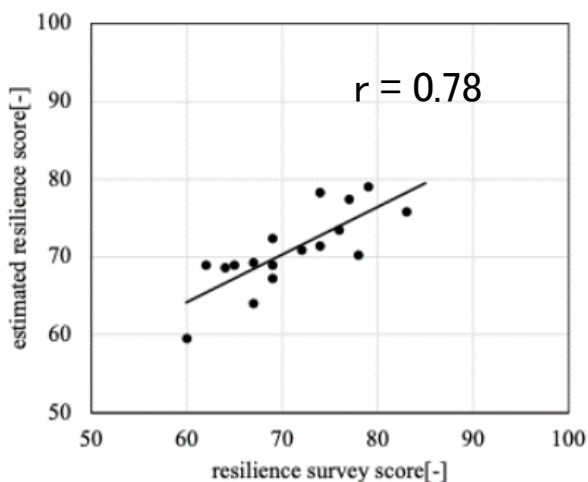


図2 アンケートによるレジリエンススコアと実装したアプリによる推定値との関係

4. 結論

本研究により、スマートフォンを用いた視線計測システムから収集した視線データ(特に注視頻度と閲覧時間が重要な指標となる)を用いることで、心理的レジリエンスを推定できることが実証された。また、複雑な情動画像においては、刺激の提示時間を延長することで精度が向上することが明らかになった。今後は、より大規模で多様な集団での検証、視線の特徴量の洗練、そしてスマートフォンを用いたメンタルヘルス評価を発展させるための実社会への応用について検討していく必要がある。

文献

- 1) Matsui, H., Yokota, T., Kotani, K., Asao, T., & Suzuki, S.: Estimation of stress resilience from eye-gaze data collected by a tablet terminal when performing a dot-probe task: Features of attentional bias for affective pictures. The Japanese Journal of Ergonomics, 2023, 59(Suppl.), JS-11.
- 2) 小谷賢太郎, 前芝直輝, 朝尾隆文, 鈴木哲: タブレット端末を用いた視線データによる心理的レジリエンス推定, 産業保健人間工学研究, 2024, 24(1), p.5-16.
- 3) Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF) documents. Retrieved from <https://www.ugent.be/pp/ekgp/en/research/research-groups/panlab/kdef>
- 4) Dan-Glauser, E. S., & Scherer, K. R. : The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance. Behavior research methods, 2011, 43(2), p.468-477.
- 5) Vassilopoulos, S. P. Social anxiety and the vigilance-avoidance pattern of attentional processing. Behavioral and Cognitive Psychotherapy, 2005, 33(1), p.13-24.

日本人間工学会北海道支部大会 講演集

2026 年 9 月 9 日発行

発 行：日本人間工学会北海道支部

事務局

〒066-0012 北海道千歳市美々758-65

公立千歳科学技術大学

情報棟 H305 小林研究室内

Email: Hokkaido.JES@gmail.com

北海道支部長 佐藤 健斗