

---

令和5年度 修士学位論文

長時間運転におけるドライバの着座姿勢挙動  
と着座疲労の関係性検証

指導教員 早川 聡一郎 准教授

三重大学大学院工学研究科  
博士前期課程 機械工学専攻  
人間支援システム研究室  
棚瀬 直浩

# 目次

---

## 目次

目次.....	1
第 1 章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 本論文の構成.....	3
第 2 章 実験装置概要.....	4
2.1 姿勢計測装置による評価.....	4
2.1.1 姿勢計測装置の概要.....	4
2.1.2 時系列的な姿勢変化の評価手法.....	8
2.1.3 姿勢形状の評価手法.....	9
2.2 NIRS 機器による評価.....	11
2.2.1 NIRS 機器 Oxy-Pro(Hb141)の概要.....	11
2.2.2 StO <sub>2</sub> 変化量計測.....	12
2.2.3 加速度センサーを用いた体動評価手法.....	12
2.3 指尖容積脈波法による客観的疲労評価手法.....	14
2.4 実験環境.....	15
2.4.1 運転実験装置.....	15
2.4.2 運転実験走行環境.....	17
2.4.3 運転シートセッティング.....	17
第 3 章 実験内容.....	18
3.1 実験内容及び実験条件.....	18
第 4 章 実験結果及び考察.....	24
4.1 姿勢計測装置による姿勢評価結果.....	24
4.1.1 各試行の時系列的な姿勢変化の評価結果.....	24
4.1.2 試行毎の姿勢形状の比較結果.....	29

4.1.3 試行毎の姿勢形状の推移の比較結果 .....	36
4.1.4 姿勢形状の折れ曲がり角の評価 .....	43
4.1.5 姿勢形状のデンドログラムによる分類結果 .....	51
4.2 NIRS 機器計測結果 .....	56
4.2.1 StO <sub>2</sub> 変化量計測結果 .....	56
4.2.2 加速度センサーによる体動評価結果 .....	59
4.3 指尖容積脈波による客観的疲労評価結果 .....	63
4.4 主観アンケートによる主観的疲労評価結果 .....	66
4.5 実験結果のまとめ .....	71
4.5.1 各実験結果の比較結果 .....	71
4.5.2 実験結果のまとめと考察 .....	77
第 5 章 結論 .....	79
5.1 まとめ .....	79
5.2 今後の課題 .....	80
参考文献 .....	81
謝辞 .....	84
付録 .....	85

# 第1章

## 序論

### 1.1 研究背景

近年、運転支援システムの発達などから交通事故は減少傾向にある。しかし依然として多く、交通事故の抑制は重大な課題とされている。交通事故には多種多様な原因が関係してくるが、その中でも大半は人的要因が占めるとされている。令和4年度の交通死亡事故を原付以上運転者の第一当事者の法令違反を見ると、安全運転義務違反が半数を占めており、中でも運転操作不適と漫然運転は共に死亡事故原因の13%以上を占めている<sup>[1]</sup>。運転操作不適は運転操作ミスのことを指し、アクセルとブレーキの踏み間違いや、ハンドル操作ミスなどが挙げられ、これらは近年の運転支援システムの発達などにより対策が進められている。また、漫然運転は単調な道路などのドライバの外的要因と、ドライバが考え事をしている状態、睡眠不足や疲労が蓄積された状態などドライバの内的要因が複雑に絡み合う。そのため漫然運転の対策としては、ドライバの内的要因による影響を少なくすることがそのひとつとして挙げられる。運転中は認知、判断、予測、操作の4つを人間の脳で行っているが、ドライバが運転により疲弊している状態だと、漫然運転となり、それらにミスが生じやすくなる<sup>[2]</sup>。そのため交通事故の抑制には、ドライバの運転疲労の低減が有効な手段である。

運転疲労は精神疲労と肉体疲労に分類される。精神疲労は歩行者や車、信号、標識などの周囲環境を常に継続して認知・判断・予測し、それらに合わせて操作しなければならず、安全運転を続ける上で、精神疲労は蓄積する。これらの精神的疲労は先進運転支援システムなどにより軽減が可能である。肉体疲労は緊張した状態で同じ体勢を維持し続けることにより、頭を支えている首や肩の凝り、体を支える背部、腰部、臀部などで圧迫感や血行不良、筋肉の硬化がみられる。筋肉が硬直することで姿勢保持力の低下が起こる。普段の運転ではドライバ自身が座りなおし、軽くストレッチなどを行うことで血行を良くし、疲労感の緩和を行っていることが多い。しかし、人間が疲労しにくい姿

勢とされている、背骨が S 字の形状にカーブを描いている姿勢は維持することが難しく、これらの理由から長時間運転では疲労を伴ってしまう。これまでも、運転疲労に関して、疲労の原因解明や疲労の低減を目的とした研究がたくさん行われており<sup>[3]-[21]</sup>、その中で平山らによる脊柱アライメントと自動車シート着座時の疲労感との関係調査では、脊柱のアライメント角と疲労感の関係性の検証を行っていた。実験協力者 60 人について、胸椎、腰椎上部、腰椎下部の湾曲角を計測し、それぞれの数値から分類を行った後、20 分のシート着座実験を行った。その際、疲労感はアンケートにより調査した。その結果、胸椎湾曲角は首、肩の疲労感に、腰椎下部湾曲角は首、腰と骨盤の境目の疲労感に有意差が認められた<sup>[11]</sup>。また、石渡らによる体幹部支持を考慮した疲労低減シートの開発では、シート背面の角度を胸郭部形状に合わせて中折れ形状にすることで、姿勢を保持する腰部の筋負荷を低減させられることを提案し、シミュレーターにより最適な角度を検討した。また、考案したシートが実際に効果を発揮できるか確認するため、現行シートと開発シートの比較実験を行った。その結果、圧力センサーにより体圧分布が骨盤部や胸郭部に分散できていることを確認した。また、120 分の動の実験でも官能評価や筋電図による評価で筋負荷の低下を確認し、疲労感の低減を確認した<sup>[12]</sup>。

このように、ドライバの着座疲労の原因解明を目指した研究やドライバの運転疲労を低減させることを目的とした研究が多くある。運転疲労を軽減させることは、快適で安全な運転をするために重要な課題だと考えられる。

## 1.2 研究目的

長時間運転での肉体疲労は、シートに着座し運転姿勢を保持することで、腰部や背部の筋肉など姿勢保持に関する部位に負荷がかかり、疲労が蓄積する。これに対し多くの人は、座り直しなどを行い、血行不良の改善や筋負荷の集中を防ごうとするが、運転中には小さな姿勢変化しか起こせず、不十分であることが多い。これに対し、本研究室では、シート背面に着脱可能な腰部支持装置を配置し、腰部を押し出すことで背面を疲労の蓄積しにくい S 字形状に促す機構を用いて疲労低減効果の確認を行ってきた<sup>[22]-[34]</sup>。疲労評価には、NIRS 機器を用いた背面筋の筋負荷推定手法による疲労評価や、指尖容積脈波を用いた全身の疲労評価を併せて行ってきた。その際、指尖容積脈波による疲労評価の結果にばらつきが見られたが、精神面の影響を受ける特性から、このばらつきは

精神面の影響によるものと考えられてきた。しかし、運転姿勢に着目して研究を行うなかで、同一条件の実験でも着座時の姿勢形状や時系列的な姿勢変化に差があることが確認されたため、着座姿勢挙動が着座疲労と関係しているのではないかと考えた。

姿勢計測には、本研究室で独自に開発した姿勢計測装置を用いており、従来研究では、腰部支持を行った際の運転中の姿勢形状をより精度よく計測するため、シート背面に取り付けリアルタイムで姿勢を計測し、比較を行ってきた。その際、腰部支持装置を定期的に作動させ、背面姿勢を負荷の少ないS字形状に促すことで、疲労低減効果が得られることを確認してきた<sup>[31]</sup>。また、自身の卒業研究で、着座姿勢の時系列的な変化を確認する手法を提案したことで、姿勢の形状と時系列的な変化のどちらも評価できるようになった。しかし、姿勢計測装置は0.1秒単位で精度良く計測できる反面、ノイズも多く乗ってしまうという課題があり、平均値で評価することで対策してきたが、体動などの小さな姿勢変化は判定することができていなかった。そこで、本研究では体動を評価する方法を検討し、湯田らの研究<sup>[35]</sup>を参考に加速度センサーを用いた体動評価手法を考案した。本研究では、NIRS機器のOxy-Pro (Hb141) に内蔵されている加速度センサーを用いた。これらの手法から姿勢変化や体動評価を併せて行うことで、運転中の姿勢挙動を多面的に評価できると考えた。

そのため本研究では、従来の姿勢計測装置や加速度計によって姿勢挙動を評価するとともに、客観的疲労評価手法を用いることで、姿勢挙動が着座疲労にどのような影響を与えているか検証することを目的とした。

### 1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。まず、第2章では実験装置について、第3章では、実験内容について説明する。第4章では長時間運転の実験結果について、姿勢挙動の計測結果と客観的疲労評価の結果を示したのち結果に対する考察を行う。そして、最後に第5章では本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 第2章

# 実験装置概要

本研究ではドライビングシミュレーターによって（以下 DS と略す）長時間運転実験を行った。また、その際に姿勢計測装置や加速度計による姿勢挙動評価を行うとともに、生体情報による疲労評価を行うことで、姿勢挙動と着座疲労の関係性の検証を行った。本章では、実験装置の説明とそれぞれの装置での評価方法について説明を行う。また、それらの実験装置を含めた運転実験中の実験環境についての説明を行う。

### 2.1 姿勢計測装置による評価

#### 2.1.1 姿勢計測装置の概要

姿勢計測装置は Fig.2.1 に示すように接触式リニア型ポテンシオメータ 8 本と株式会社有馬電子製シグナルプロセッサ Aproc-1 から構成されている。ポテンシオメータはシートに直接取り付けられており、Fig.2.2 に示すようにシート背面側に飛び出した形状をしているため、ばねによって背中に追従する仕組みとなっている。計測装置の取り付け位置について、一番下のポテンシオメータが計画ヒップポイントから 120mm の高さに取り付けられている。ここで、B120 とは Fig.2.3 のように計画ヒップポイント(以下、SRP と略す)を通り、シートバックに垂直な直線を基準線としたときの基準線からの高さ[mm]が 120mm の点であり、高さに応じて B○○と表記している。ポテンシオメータは B120 から 30mm 間隔で B360 まで取り付けられている。ただし、B300 の位置はシート表皮の繋ぎ目と被っており、構造上穴を空けることができないため、計測装置を設置できていない。この装置のサンプリングタイムは 0.1sec である。

Fig.2.4 にシート背面の電圧計測の様子を示す。また、Fig.2.5 にドライバ着座時の電圧計測の様子を示す。





Fig.2.1 Appearance of Posture Measurement Device



Fig.2.2 Seat Surface



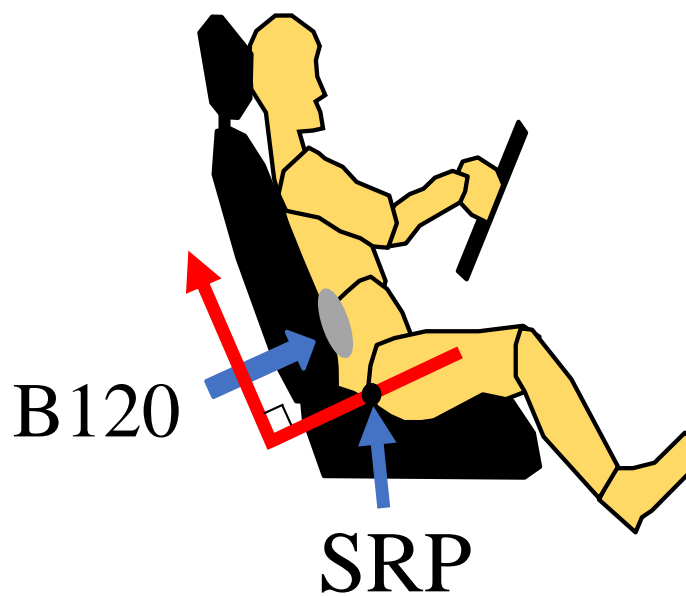


Fig.2.3 Support Position Set in This Experiment



Fig2.4 Backside Voltage Measurement



Fig.2.5 At the Time of Seating

### 2.1.2 時系列的な姿勢変化の評価手法

本項では背面の時系列的な姿勢変化を評価する手法を説明する．この評価手法は，長時間実験中に背面のそれぞれの計測位置がシート背面に近づく，もしくは遠ざかるなどの変化が起こった際，変位の大きさや推移をわかりやすくすることを目的として作成した．

ポテンシオメータからの信号は電圧の値として出力されるため，計算によって変位を求める．シャフトのストロークは 55mm であり，ポテンシオメータの最大出力が 5.0V であるため，非着座時のシート背面での測定電圧値[V]を $V_a$ ，着座時の測定電圧値[V]を $V_b$ ，非着座時のシート背面からのポテンシオメータの変位量[mm]を $d$ ，とすると式(2.1)により $d$ を算出する．

$$d = (V_a - V_b) \times \frac{55}{5} \quad (2.1)$$

この計算によってシート背面からの沈み込みが評価できるが，計測器のサンプリングタイムのままグラフ化するとノイズが大きく変化の特徴が捉えにくい．ため，計算結果を5分ごとに平均しグラフ化することとした．その結果の例を Fig.2.6 に示す．横軸は時間 [min] である，また，縦軸は変位量[mm]であり，シート背面を基準値としている．それぞれの計測位置と色の対応はグラフ右側に示している通りのものとなっている．

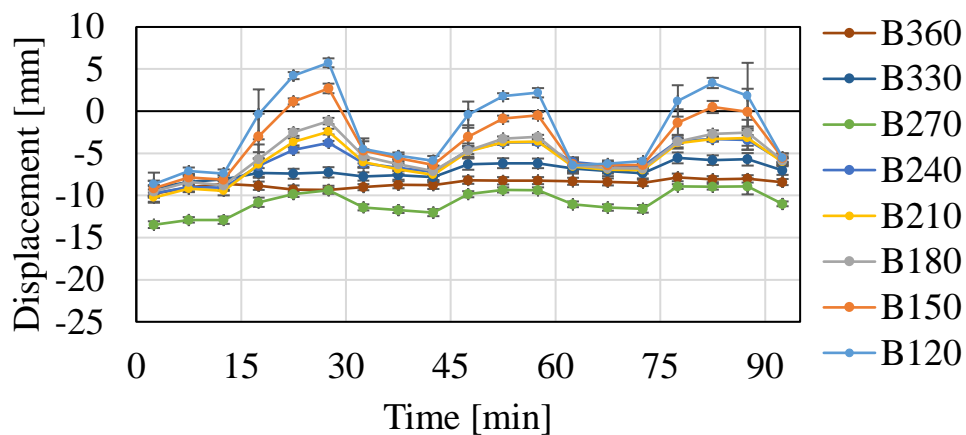


Fig.2.6 Example of Measured Results of Postural Changes

### 2.1.3 姿勢形状の評価手法

本項では実験中の姿勢形状の評価手法の説明を行う。この評価は、シートに対してどのような背面形状をしているのか視覚的にわかりやすくすることを目的として作成したものである。

姿勢形状の評価は、2.1.2 項で説明したシート背面からの変位量[mm]である  $d$  と、各シートの代表的な点の座標やシート角度から、シートに対する背面の位置座標を算出し、座標系にプロットすることで評価を行う。計算に用いたシート座面の各座標と角度は Fig.2.7 に示す。また、姿勢形状の計算結果の例を Fig.2.8 に示す。このグラフの各線について、Seat はシート座面の形状を表しており、Seat 以外は書かれている時間の計測データを 5 分毎に平均したものである。例では 5 分毎の計算結果を表示しているが、15 分毎の沈み込み量の平均値でも算出することができるため、調べたい時間に合わせて平均値を算出することでそれぞれの評価に役立てている。このグラフでは、シート背面と同じ座標系にプロットしているため、シートに対する姿勢形状やほかの試行結果との形状の差を視覚的にわかりやすく表示することができる。また、試行結果毎の姿勢の沈み込み量をより比較しやすくするため、平均沈み込み量の計算を行った。これは、各 8 か所の沈み込み量  $d$  を平均したものであり、背面の全体的な沈み込みを評価するものとする。また、姿勢形状を数値的に評価するため、折れ曲がり角による評価も行った。折れ曲がり角とは、Fig.2.8 のグラフ作成時に導出する背面座標から導出するものであり、一例としては、B120 から B150 の計測点をつなぐ直線と B150 から B180 の計測点をつなぐ直線は B150 の計測点でつながっているため、B150 の折れ曲がり角として定義した。同様にして他の計測位置についても計算を行い、合計 7 か所の折れ曲がり角によって評価を行った。また、姿勢形状のデンドログラムによる類似度評価も行った。計算は各計測位置の沈み込み変位量  $d$  を 1 行 8 列の行列にとらえ、その平均距離によって判別した。

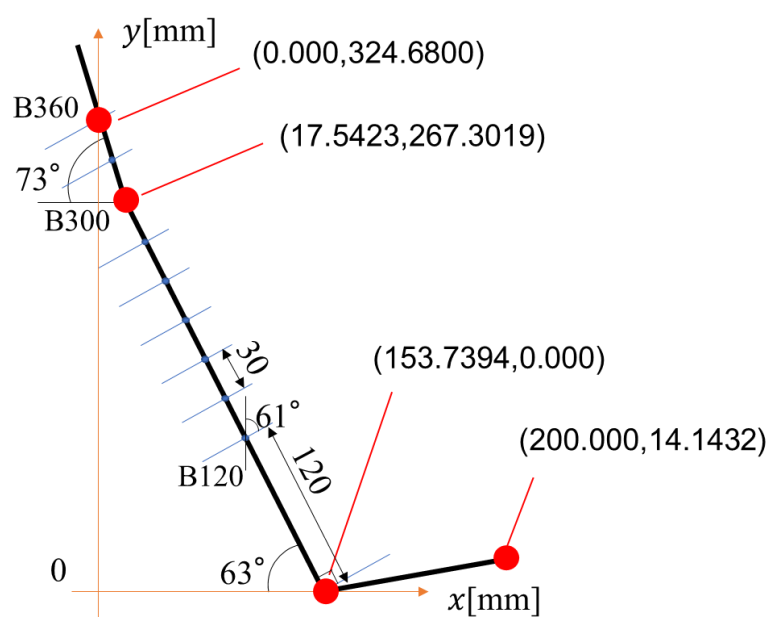


Fig.2.7 Sheet Angles and Values

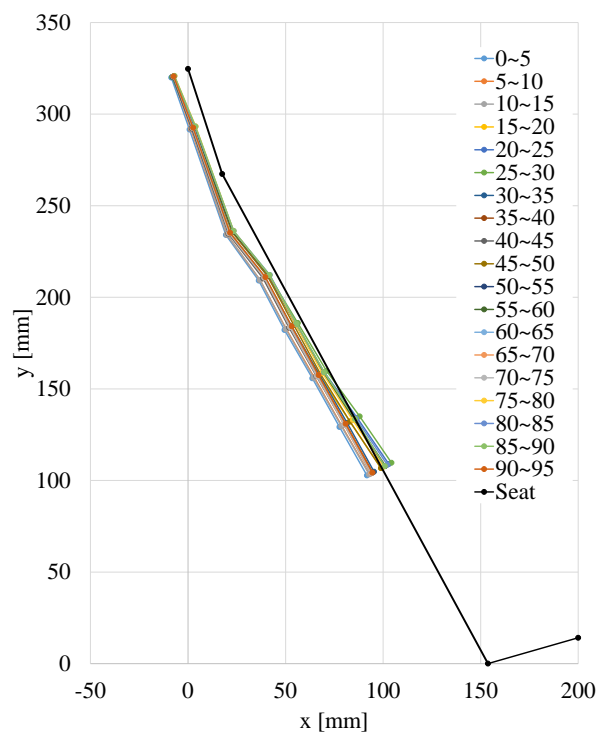


Fig.2.8 Example of Posture Shape Measurement Results

## 2.2 NIRS 機器による評価

### 2.2.1 NIRS 機器 Oxy-Pro(Hb141)の概要

本研究では、NIRS 機器を用いて背面筋の負荷評価と加速度計による体動評価を行った。NIRS 機器とは、近赤外線分光法（NIRS）を用いて、組織酸素飽和度（以下  $\text{StO}_2$  と略す）の測定を行う装置である。本研究では Fig.2.9 に示す株式会社アステム社製 Oxy-Pro(Hb141)組織酸素計を用いて計測を行った。このセンサーは非侵襲かつ、疲労を調べたい箇所に直接貼り付けることで部位ごとの計測が可能である。計測項目として酸素化ヘモグロビンの量、脱酸素化ヘモグロビンの量、2 つを合わせた総ヘモグロビンの量、総ヘモグロビンの内の酸素化ヘモグロビンの割合である  $\text{StO}_2$  を検出している。 $\text{StO}_2$  の値が高いほど筋組織中の酸素量が多いと考えられる。また、xyz それぞれの軸方向の加速度の計測も併せて行った。これら 2 つとも、サンプリングタイムは 1sec とした。本体の厚みは 8mm である。なお、事前に計測部位の脂肪層の厚みを入力しておくことで計測値(酸素化ヘモグロビン量と脱酸素化ヘモグロビン量を補正できる。本研究では脂肪厚は 5mm と設定した。また、装置の貼り付け位置は、従来から腰部支持装置のぶつからない高さの B270 の位置としており、本研究でも同様の計測位置とした。なお、腰部支持装置については 2.4 節で説明を行う。



Fig.2.9 Oxy-Pro(Hb141)

### 2.2.2 StO<sub>2</sub> 変化量計測

本研究では、NIRS 機器により StO<sub>2</sub> を計測し、その変化量によって疲労の推定を行った。本項目では評価方法について説明を行う。NIRS 機器では 95 分間の酸素飽和度計測を 1 秒単位で行うことができおり、姿勢計測装置と併せて評価することで細かい時間ごとにも何か対応が見られる可能性があると考え、変化量の計算結果をグラフ化して評価した。従来手法と同様に、実験開始直後の StO<sub>2</sub> がばらつきの影響をなるべく減らし、見やすくするため、2 分から 5 分の計測結果の平均を基準として評価を行った。また、計測結果のノイズを減らし確認しやすくするため、重み付き移動平均フィルタをかけた。精度よくかつ滑らかにするため、長さ 211 点で計算を行い、3 次式で近似するよう設定した。

### 2.2.3 加速度センサーを用いた体動評価手法

本研究では、NIRS 機器に内蔵された加速度センサーを用いて加速度データを計測し、体動評価を行った。その評価手法について説明する。

参考にした湯田らによる研究では、着座時には上下方向の変動が少ないと仮定して加速度データのうち y 軸方向を除いた x 軸と z 軸方向の変化に着目し、ローレンツプロット法を用いて x-z 平面の座標系に各計測点を表示し、表示されている点群の面積を楕円に見立て、楕円の形状や面積によって評価を行っていた<sup>[35]</sup>。しかし、本研究では、すべての軸方向の体動を見られ、かつ、より簡単な処理で体動を評価する手法を検討し、すべての軸方向の加速度データから得られる合成ベクトルを用いて、体動の評価を行えるのではないかと考えた。合成ベクトルを用いることで、突発的な加速度の大きな変化のみを抽出できると考え、合成ベクトルがある一定の数値を越えた場合を体動として捉えるものとした。本研究では、合成ベクトルについて 5 分毎に平均と標準偏差の計算を行い、その区間の平均値から標準偏差の上下 4 倍を越える加速度の変動を体動として捉え、長時間運転実験の間に何回起こったか計測した。Fig.2.10 に加速度の合成ベクトルの計測結果と、標準偏差の 4 倍の線を示す。横軸が時間[min]で縦軸が合成ベクトルの大きさ[G]である。赤い丸で囲んでいるのが標準偏差の 4 倍を越えているポイントであり、本研究ではこの回数を数えた。



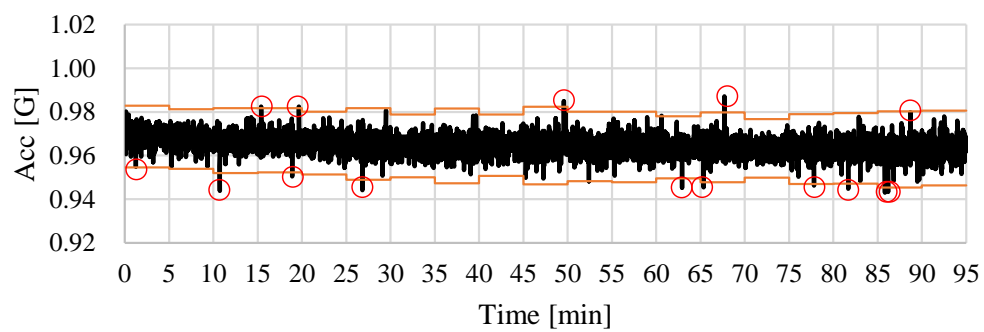


Fig.2.10 Example of Body Movement Measurement Results

## 2.3 指尖容積脈波法による客観的疲労評価手法

本研究では，運転疲労評価に藤田らが提唱する指尖容積脈波に基づく疲労評価手法を用いた<sup>[36][37]</sup>．指尖容積脈波を収集するための装置には，株式会社 TAOS 社製の BACS Advance を用いた．BACS Advance を Fig.2.11 に示す．この計測装置のカフ部分に左手中指先を挟み込むことで指尖容積脈波を検出する．この装置により指尖容積脈波時系列信号を得ることができる．このセンサーは，血液中のヘモグロビンの光吸収特性を利用して指尖容積脈波を計測している．指先に向けて光を照射する発光素子と人体からの反射光を検出する受光素子とを備え，血液の脈動によって生じる血流量の変化を受光量の変化として検出するものである．サンプリング時間は 0.005[sec]である．

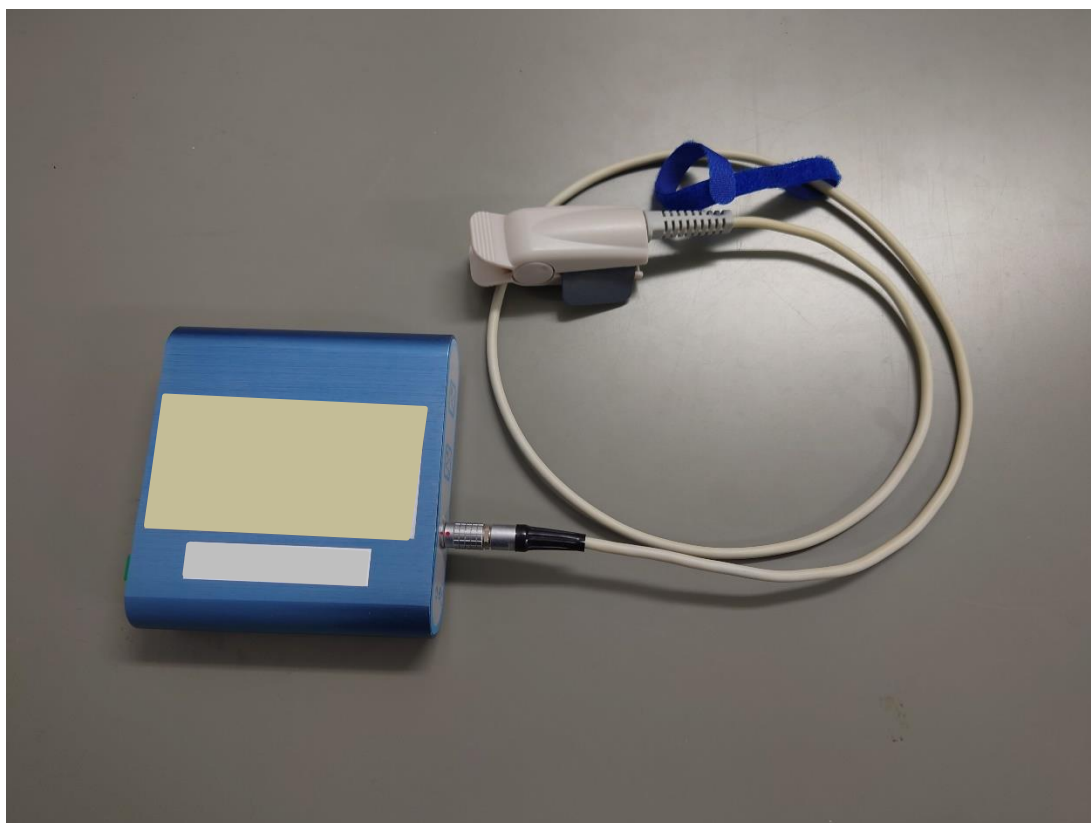


Fig.2.11 BACS Advance

## 2.4 実験環境

### 2.4.1 運転実験装置

長時間運転実験で用いた装置の構成を Fig.2.12 に示す. また, DS の外観を Fig.2.13 に示す. DS のドライバ正面に大型モニタが1台設置されており, 運転席部には Thrustmaster T-GT Force Feedback Racing Wheel for PlayStation4 を用いステアリング, アクセル, ブレーキを設置した. さらに, 高級セダン用運転者シートで構成される. シートの背面には, Fig.2.14 に示す腰部支持装置が取り付けられている. 腰部支持装置には圧力計を取り付け, 空気圧によって支持圧を調節した. また, 指尖容積脈波収集装置である BACS advance と得られた脈波を蓄積するため PC1 を設置した. また, NIRS 機器により  $\text{StO}_2$  と加速度データを計測し, その計測結果を PC2 に Bluetooth を用いて記録した. また, 姿勢計測装置の計測結果も PC2 に記録した. 本実験ではドライバの運転情報は不必要であるため, 走行環境用に PlayStation4 とグランツーリスモ SPORT を使用した.

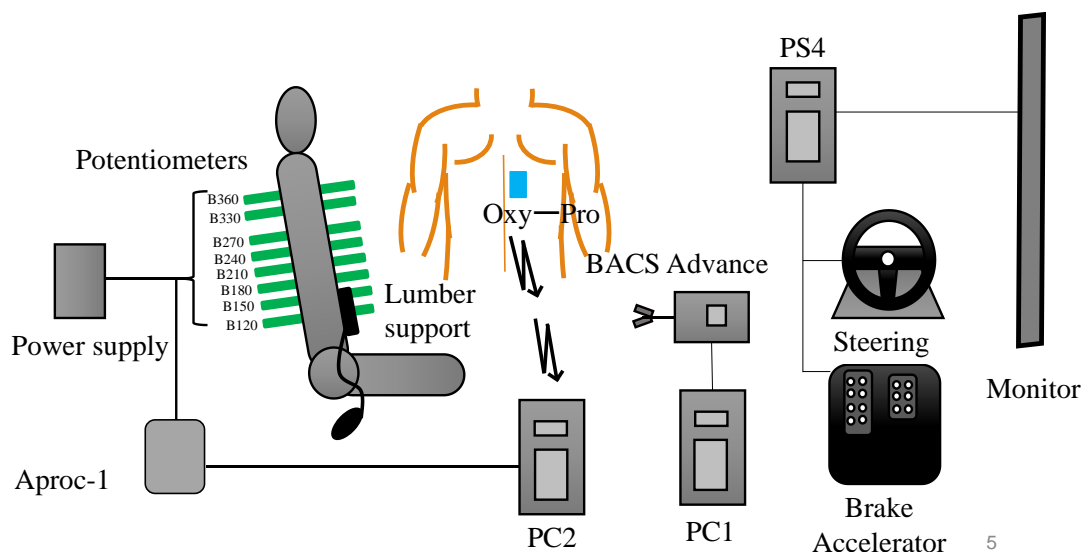


Fig.2.12 Configuration of the Experimental System



Fig.2.13 Experimental Equipment Appearance



Fig.2.14 Lumber Support



## 第3章

# 実験内容

### 3.1 実験内容及び実験条件

長時間運転の疲労評価を行うため、長時間運転実験を行った。実験協力者は二名で行い、実験時間は長時間運転を想定したものであるため、95 分間とした。実験中は、姿勢計測装置により背面形状とその変化を計測し、第2章にて説明を行った手法で姿勢の評価を行った。また、NIRS 機器に内蔵されている加速度センサーにより、体動の評価を行った。そして、指尖容積脈波計測装置によって全身の客観的疲労評価を、NIRS 機器によって姿勢維持に関係する筋肉の客観的疲労評価を行った。また、実験中はアンケートによる主観的疲労評価も行った。先行研究において腰部、臀部、背部の3カ所でアンケート調査を実施していたため、本研究でもこの3カ所でアンケートを行った。評価方法は、Fig.3.1 に示すように、実験開始時の疲労値の初期値を1として、5分おきに各部位の疲労度を実験参加者自ら評価し、5分前と比べて現在の疲労度が高いと感じたら、+1 とする手法を用いた。この評価を実験時間 95 分間で 5 分おきに行い、各部位で相対的な筋疲労評価を行う。

運転実験を行う際の注意点として、最初に指尖容積脈波について、実験協力者の運転中の動作から大きな影響を受けてしまう特徴がある。そのため、計測を行う左手は肘置きの上にて脱力、安静にし、ステアリング操作は右手のみで行う。また、実験協力者には深く腰掛けることと、頭をヘッドレストに付けることに留意してもらい、座り直しやドライバ自身の意識的な姿勢変化などの動作は極力控えてもらった。着座時の様子を Fig.3.2 に示す。また、生体情報である指尖容積脈波は日々の生活リズム(就寝、起床、食事等の時間)の影響も受けるため、実験協力者には実験前日からの就寝、起床、朝食、昼食の時間を可能な限り整えてもらい、実験開始時刻は各実験パターンで可能な限り同時刻とした。また、指尖容積脈波は温度や湿度など周囲の環境の影響も非常に受けやす

く、温度計、湿度計を用いて空調管理を念入りに行った。

次に、組織酸素飽和度は、同じ実験協力者でも実験を行う日によって値のばらつきが大きい特徴がある。このばらつきは実験開始前の実験協力者の姿勢状態に影響を受けやすいと考え、運転実験開始前にうつぶせ状態を5分間維持し、その1分後に運転実験を開始することで実験開始時の条件を統一するよう努めた。

これらの疲労評価は、連日の実験による疲労の蓄積による影響を無くするため、一名の実験協力者が連日の実験を行わず、少なくとも一日以上の間隔を開けて実験を行った。

実験協力者のサンプルデータを Table 3.1 に、日々の運転アンケートの結果を Table 3.2 に示す。実験パターンは次に示す2パターンで実施した。(1) 装置を動作させないパターン 1, (2) 実験中 15 分おきに B120 の支持位置で駆動させるパターン 2。各パターンで実験協力者 A,B の二名とも 4 回ずつ実験を行った。今回実施した実験では先行研究で効果があったパターンと同様に腰部支持周期を 15 分とした。また、運転開始から 15 分は腰部支持による疲労増加低減効果がないことは先行研究からの知見であるため、運転開始から 15 から 30 分, 45 から 60 分, 75 から 90 分まで腰部支持を行った。Table 3.3 に実験日時や気温などの実験環境、生活リズム、などを示す。また、腰部支持を行う実験については、腰部支持装置の押し出し量を示す。この押し出し量は、実験協力者毎にちょうど良いと感じる支持量とした。

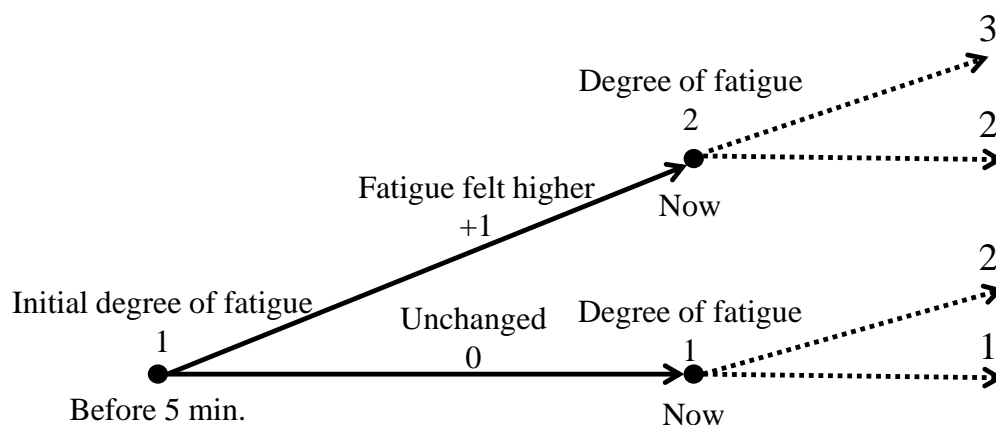


Fig.3.1 Subjective Evaluation Method





Fig.3.2 Appearance of the Experimental System

Table 3.1 Sample Data of Participants

Participant A

Age[years]	Gender	Height[cm]	Weight[kg]	Sight
24	Male	171	60	1.0

Participant B

Age[years]	Gender	Height[cm]	Weight[kg]	Sight
23	Male	173	68	0.7

Table 3.2 Result of work sheet

## Participant A

Survey content	Answer
Period from to obtain a driver's license	5 years
Driving frequency of 1 year	About 2days a week
Standard of a one driving time	About 30 min.
Vehicle name	Honda CR-V
The type of the car	Passenger car
Form of steering wheel	Right hand drive
Transmission	Automatic

## Participant B

Survey content	Answer
Period from to obtain a driver's license	5 years
Driving frequency of 1 year	About 7days a week
Standard of a one driving time	About 30 min.
Vehicle name	TOYOTA Vitz
The type of the car	Passenger car
Form of steering wheel	Right hand drive
Transmission	Automatic

Table 3.3 Experimental conditions

## Participant A, Pattern 1 (Off)

	Off1	Off2	Off3	Off4
Date	23.11.20	23.10.30	23.5.28	23.4.10
Temperature	24.8°C	24.9°C	23.5°C	23.2°C
Humidity	35.5%	44.3%	40.1%	39.0%
Start time	13:00	13:00	13:00	12:30
Condition	Normal	Normal	Normal	Normal
Breakfast	9:30	9:30	9:30	9:30
Lunch	12:00	12:00	12:00	11:30
Bed time	0:30	0:30	1:00	1:00
Wake up	9:00	9:00	9:00	9:00

## Participant A, Pattern 2 (B120)

	B120-1	B120-2	B120-3	B120-4
Date	23.7.25	23.8.31	23.7.30	23.8.8
Temperature	24.1°C	23.5°C	23.8°C	23.3°C
Humidity	63.0%	67.1%	65.5%	65.1%
Start time	13:00	13:00	13:00	13:00
Condition	Normal	Normal	Normal	Normal
Breakfast	9:30	10:00	9:30	9:30
Lunch	12:00	12:00	12:00	12:00
Bed time	1:00	1:30	1:00	1:00
Wake up	9:00	9:30	9:00	9:00
1st Extrusion	6kPa	6kPa	6kPa	6kPa
2nd Extrusion	8kPa	8kPa	8kPa	8kPa
3rd Extrusion	10kPa	10kPa	10kPa	10kPa

Participant B, Pattern 1 (Off)

	Off1	Off2	Off3	Off4
Date	22.9.28	22.10.5	22.10.17	22.11.15
Temperature	23.0°C	23.8°C	24.4°C	23.4°C
Humidity	67.6%	72.4%	72.4%	38.2%
Start time	13:00	13:00	13:00	13:00
Condition	Normal	Normal	Normal	Normal
Breakfast	9:30	9:30	9:30	9:30
Lunch	12:00	12:00	12:00	12:00
Bed time	1:00	0:00	1:30	1:00
Wake up	9:00	9:00	9:00	9:00

Participant B, Pattern 2 (B120)

	B120-1	B120-2	B120-3	B120-4
Date	22.10.3	22.10.19	22.11.03	22.11.21
Temperature	23.3°C	23.7°C	23.0°C	23.2°C
Humidity	71.5%	44.5%	53.4%	40.8%
Start time	13:00	13:00	13:00	13:00
Condition	Normal	Normal	Normal	Normal
Breakfast	9:30	9:30	9:30	9:30
Lunch	12:00	12:00	12:00	12:00
Bed time	0:00	1:00	0:00	1:00
Wake up	9:00	9:00	9:00	9:00
1st Extrusion	8kPa	8kPa	8kPa	8kPa
2nd Extrusion	8kPa	8kPa	8kPa	8kPa
3rd Extrusion	8kPa	8kPa	8kPa	8kPa

## 第4章

# 実験結果及び考察

本章では長時間運転実験の評価結果を説明する。着座姿勢について4.1節にて、NIRS機器での評価結果を4.2節にて説明する。また、指尖容積脈波による客観的評価結果を4.3節で、アンケートによる主観評価結果を4.4節にて説明する。また、4.5節では実験結果のまとめと考察を説明する。

### 4.1 姿勢計測装置による姿勢評価結果

本研究では、姿勢計測装置により計測したデータを2種類のグラフにて評価した。また、デンドログラムにより姿勢形状の類似度を比較した。本節ではその結果について順に説明する。

#### 4.1.1 各試行の時系列的な姿勢変化の評価結果

本項では、2.1.2項により説明した手法で、時系列的な姿勢変化を評価した結果を示す。このグラフは、横軸が時間[min]で、縦軸がシート背面からの変位[mm]を示しており、シートの背面を基準に沈み込む方をマイナスとしてグラフ化している。それぞれの実験データは、5分毎にシート背面からの沈み込み量について平均と標準偏差を計算し、各点としてプロットされている。このグラフによって計測位置と変位の大きさがわかりやすくなっている。実験協力者Aのパターン1の実験結果をFig.4.1に、実験協力者Aのパターン2の実験結果をFig.4.2に、実験協力者Bのパターン1の実験結果をFig.4.3に、実験協力者Bのパターン2の実験結果をFig.4.4に示す。

実験協力者Aのパターン1の実験結果について、計測結果すべてに言えることとしては、途中で大きな変動が起こっていないことと、全体的に沈み込みが浅く推移していることが挙げられる。以下より試行結果毎に細かく評価した結果を記述する。

Off1は0分から45分までを5分ごとに詳細に確認すると、B120やB150などの腰椎

に近い部位を中心に小さな変動が起こっていることが確認できる。また、Off2 も B120 の計測位置を中心に 0 分から 60 分頃まで波打つ変動が少しではあるが起こっていることが確認できる。また、Off3 は 15 分に主に腰椎部で大きな変動が起こった後は 60 分ごろまでは大きな変動は無く、75 分前後より腰椎部がシート背面側に近づく変動をしていることが確認できる。Off4 は、他の 3 本の試行結果と異なり、0 分から 15 分の間にシートに沈み込む変位が起こっているが、95 分通して結果を確認すると、シート背面側に近づく変動をしている。

実験協力者 A のパターン 2 の実験結果についても、すべての試行結果について、時間経過と共にシート背面に近づく推移をしていることが確認できる。以下より試行結果毎に細かく評価した結果を記述する。

B120-1 は、姿勢全体がシート背面から浅い位置で推移しており、腰部の支持によって 10mm 程度の変動が起こっていることがわかる。また、腰部支持を行っている時間には、B120 や B150 の計測位置でシート背面よりも前に出ていることが確認できる。B120-2 は腰部支持を行っているが変位が非常に小さいことがわかる。押し出しによる変化は腰椎部の一番動いている部位でも 5mm 程度の姿勢変動にとどまっており、4 本の試行結果の中で唯一、シート背面から浮かない試行結果となっている。また、B270 の計測位置も押し出しに応じて変動が起こっていることが確認できる。B120-3 は実験開始時の姿勢の沈み込みが深く、胸椎下部は特に深い位置で推移していることが確認できる。腰椎の実験開始時の変位が深い影響もあり、変動は 10mm 程度起こっているが、B150 の計測位置はシートよりも前面に出る変動は起こっていないことが確認できる。B120-4 も、実験開始時の沈み込みが深く、胸椎下部が深い位置で推移していることが確認できる。この試行結果は、1 回目の腰部支持から元の姿勢に戻り切っていないため、2 回目の支持で B150 の計測位置がシートよりも前に出る形状をしていることが確認できる。

実験協力者 B のパターン 1 結果は、全体的に時間経過とともにシートに沈み込む変動をしており、実験協力者 A とは異なる傾向で推移していることがわかる。その際、B360 などの胸椎中部の変動は少なく、胸椎下部や腰椎上部などはゆっくりと沈み込んでいく傾向がみられる。そして、Off3 のように実験開始時から沈み込んでいる姿勢のものは沈み込み幅が少なくなっている。この実験協力者では、実験協力者 A 以上に細かい変動が少ないことが確認できるため、詳細な姿勢結果の記述は省略する。

実験協力者 B のパターン 2 の結果についても、時間経過と共に沈み込む傾向が見られる。以下より試行結果毎に細かく評価した結果を記述する。

B120-1 はすべての押し出し操作における変化量が、3 回とも腰椎上部は 5mm 程度で胸椎下部は 3mm 程度に揃っており、腰部支持を解除した際にも同じ姿勢へと戻っている様子が確認できる。B120-2 は腰部支持を行っている時間の腰椎部の変化量は回数を重ねるごとに多くなっており、後半の時間ほど変化の差が大きくなっている。B120-3 は、1 回目や 2 回目の支持では B120 の計測位置では 5mm ほど変動が起こっており、3 回目の支持では 5mm 以上の変位が起こっているが、B150 より上の変位は B120 よりも小さい変位量となっている。B120-4 は 2 回目の腰部支持が最も大きく動いており 1 回目と 3 回目も腰椎部の変位は 5mm と大きな変動が起こっている。また、B120 と B270 の変位は時間経過とともにシート背面側に変動しており、ほかの試行結果とは少し異なる変化をしている。



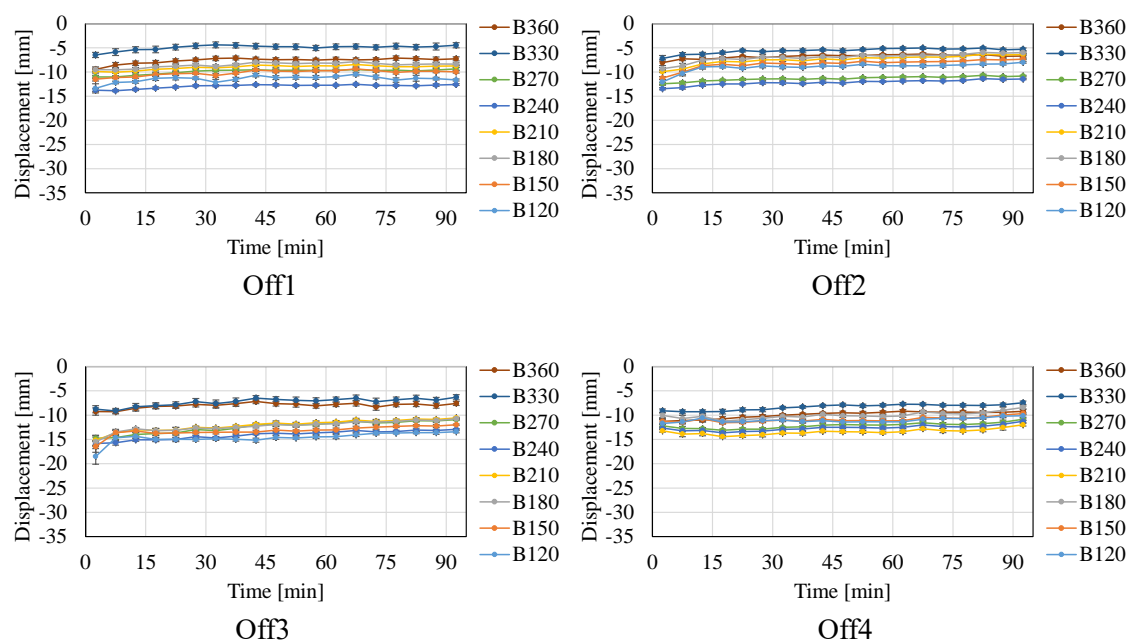


Fig.4.1 Postural Change in Pattern 1 for Participant A

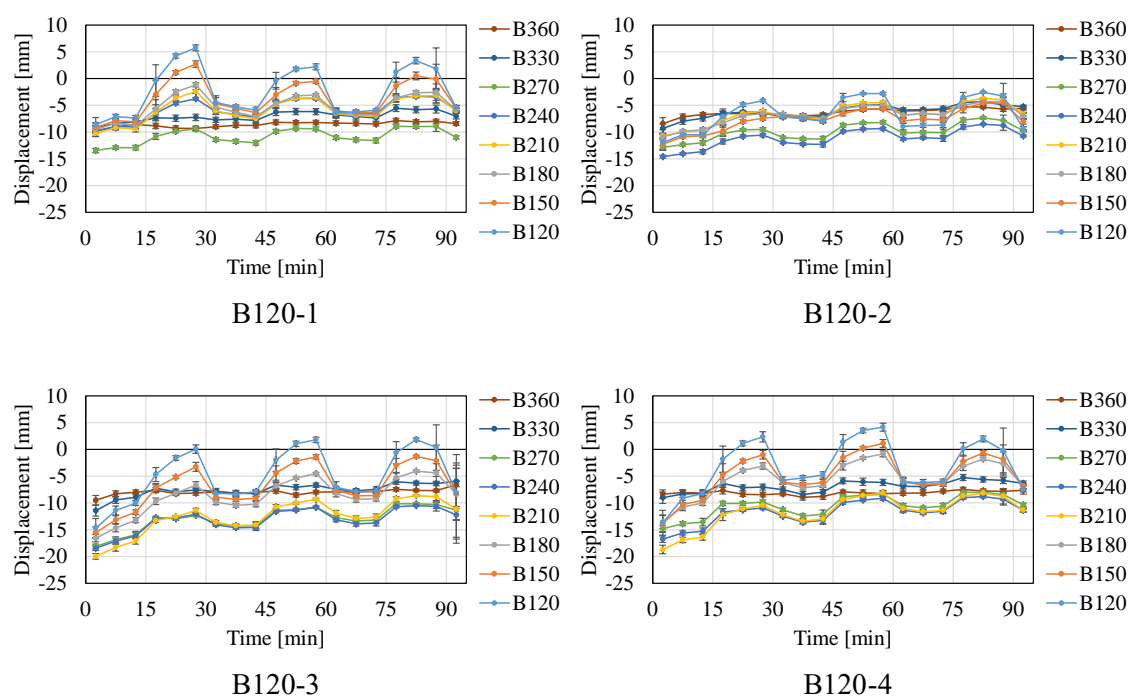


Fig.4.2 Postural Change in Pattern 2 for Participant A

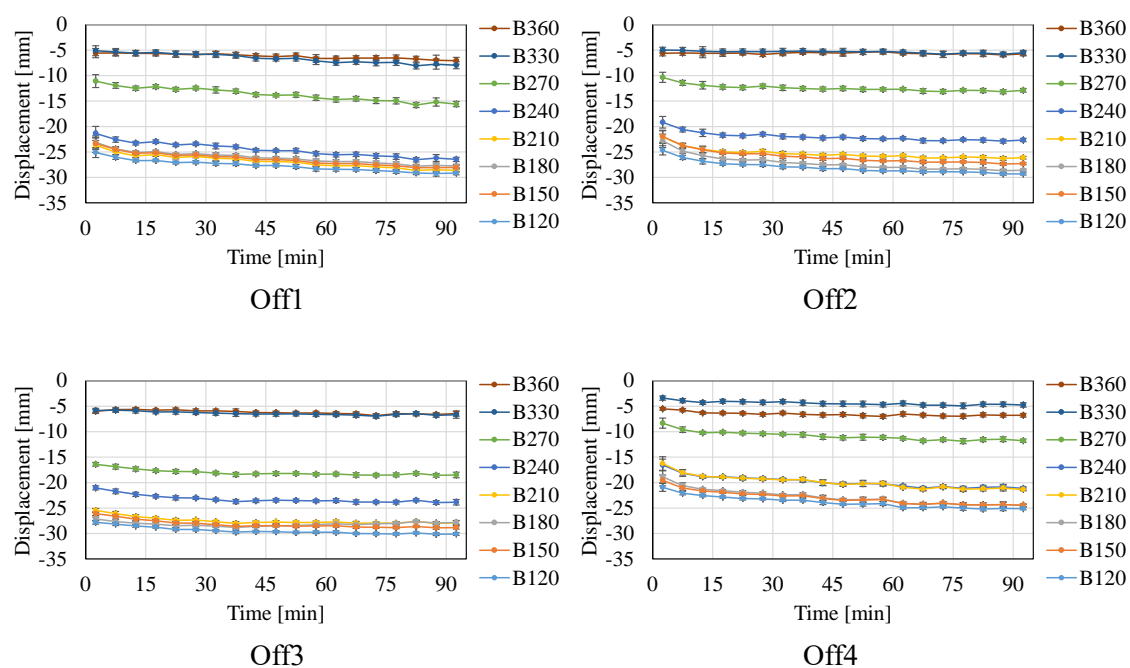


Fig.4.3 Postural Change in Pattern 1 for Participant B

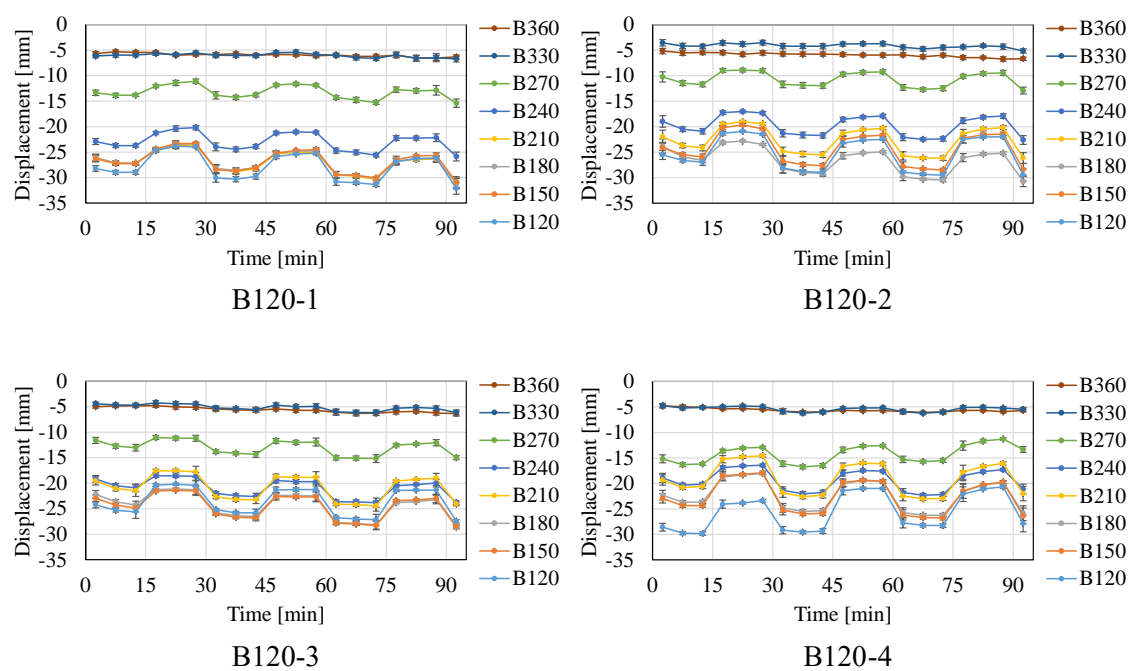


Fig.4.4 Postural Change in Pattern 2 for Participant B

#### 4.1.2 試行毎の姿勢形状の比較結果

本項では、姿勢形状の比較を行った結果を示す。その際、4.1.1 項で確認できたこととして、どちらの実験協力者についても、どこの計測位置も概ね同じ変化をしていることが確認でき、実験協力者 A では時間経過と共にシート背面側に近づくような推移を、実験協力者 B ではシート背面に沈み込む推移をしていることが確認できた。そのため本項では、実験開始時の姿勢として、0 分から 15 分の姿勢形状を、実験終了時の姿勢として 90 分から 95 分の姿勢形状を示し試行結果の比較を行う。間の時間の変化については、4.1.3 項にて試行結果毎により詳細に確認を行う。実験協力者 A のパターン 1 の結果を Fig.4.5 に、実験協力者 A のパターン 2 の結果を Fig.4.6 に、実験協力者 B のパターン 1 の結果を Fig.4.7 に、実験協力者 B のパターン 2 の結果を Fig.4.8 に示す。これらのグラフは、横軸も縦軸も座標系[mm]となっている。

また、どちらの実験協力者についても、パターン 2 において腰部支持を行った。その際の腰部支持による姿勢変化を確認するため、腰部支持を行っていない時間の平均形状と、腰部支持を行った時間での平均形状をグラフ化し、比較を行った。実験協力者 A の結果を Fig.4.9 に、実験協力者 B の結果を Fig.4.10 に示す。これらのグラフも同様に、横軸も縦軸も座標系[mm]となっている。

また、本研究では、平均沈み込み量を計算し、背面全体の沈み込みの評価に役立てた。平均沈み込み量の計算結果について、実験協力者 A のパターン 1 の結果を Table4.1 に、実験協力者 A のパターン 2 の結果を Table4.2 に、実験協力者 B のパターン 1 の結果を Table4.3 に、実験協力者 B のパターン 2 の結果を Table4.4 に示す。単位は全て[mm]である。

実験協力者 A のパターン 1 の結果について、Fig.4.5 や Table4.1 より、実験開始から実験終了にかけて、沈み込みが Off1 と Off2 は浅く、Off3, Off4, が深い結果となっていた。主に差が出た計測位置は、B210 より下の胸椎下部から腰椎に相当する。また、Off4 は B360 の計測位置の沈み込みが、他の 3 本の試行結果より深いことも確認できる。

実験協力者 A のパターン 2 の結果について、Fig.4.6 や Table4.2 より、実験開始から実験終了にかけて、沈み込みが B120-1 と B120-2 が浅く、B120-3 と B120-4 は深い結果が得られた。主に差が出た計測位置は、B270 から B210 の間で、胸椎下部に相当する。

実験協力者 B のパターン 1 の結果について、Fig.4.7 や Table4.3 より、沈み込み量については実験開始から実験終了にかけて Off3, Off1, Off2, Off4 の順に沈み込んでいる

結果が得られていたが、実験開始時より実験終了時の方が沈み込み量の差は小さいものとなっていた。沈み込み量に差が出ていた計測位置は、B270 より下の計測位置全体となっており、胸椎下部から腰椎に相当する。また、Off4 のみ他の3本の試行結果と異なり、沈み込み量が非常に浅い結果となっていたため、形状の推移の詳細を4.1.3項で確認する。

実験協力者Bのパターン2の結果について、Fig.4.8やTable4.4より、実験開始時の沈み込みはB120-1, B120-4, B120-2, B120-3の順に深い結果となっていたが、実験終了時にはB120-1, B120-2, B120-3, B120-4の順に沈み込みが深い結果へと変化した。沈み込み量に差が出た区間は、実験開始時はB270より下の胸椎下部から腰椎にかけてであったが、実験終了時にはB240より下の計測位置で、特にB210の計測点となっている。

実験協力者Aの腰部支持の有無による差について、Fig.4.9やTable4.2より、どの試行結果についても腰部支持により沈み込み量が浅くなる結果が得られた。沈み込み量に差が出た計測位置はB270より下の胸椎下部や腰椎であり、腰椎部で押し出しを行っている結果と考えられる。

実験協力者Bの腰部支持の有無による差について、Fig.4.10やTable4.4より、どの試行結果についても腰部支持により沈み込み量が浅くなる結果が得られ実験協力者Aと同様の結果が確認できた。沈み込み量に差が出た計測位置も実験協力者Aと同様に、B270より下の胸椎下部や腰椎であり、腰椎部で押し出しを行っている結果と考えられる。

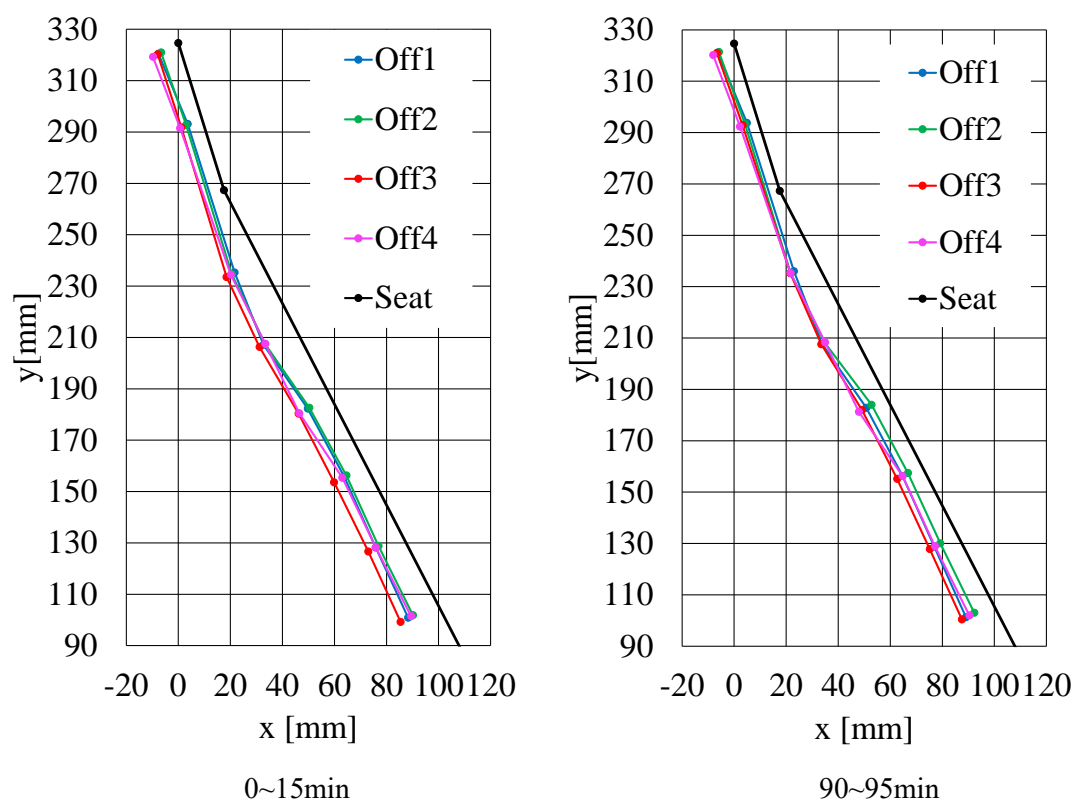


Fig.4.5 Posture Shape of Pattern 1 for Participant A

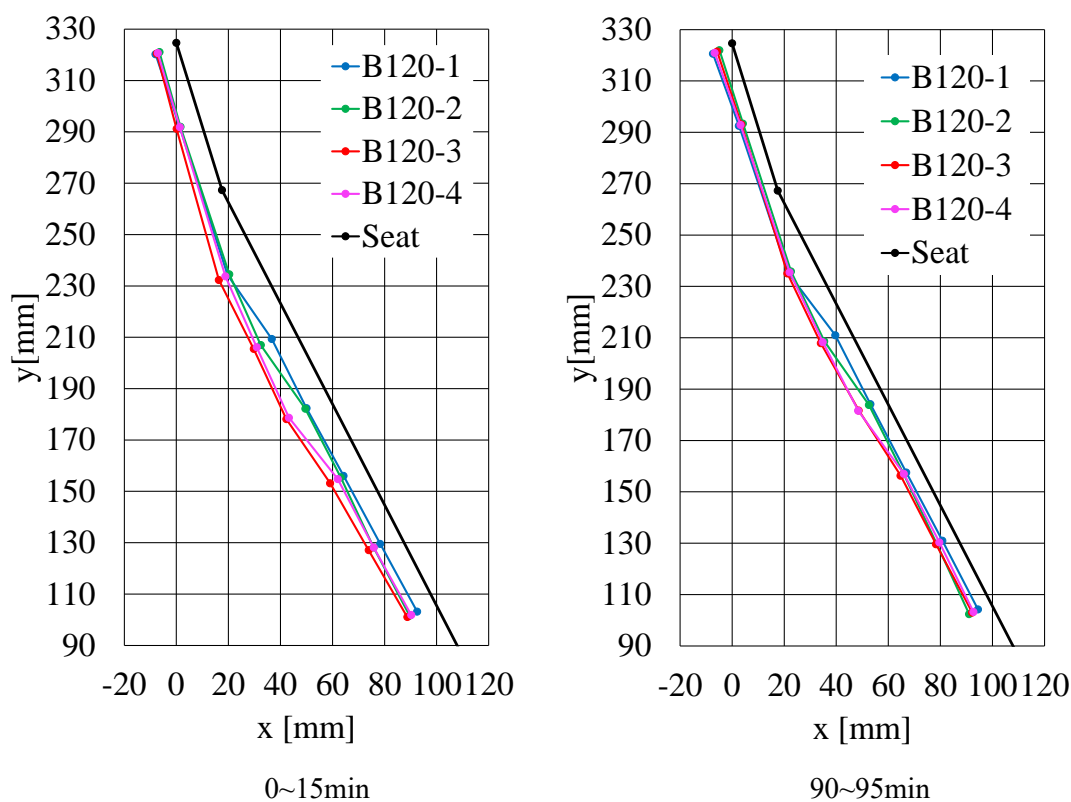


Fig.4.6 Posture Shape of Pattern 2 for Participant A

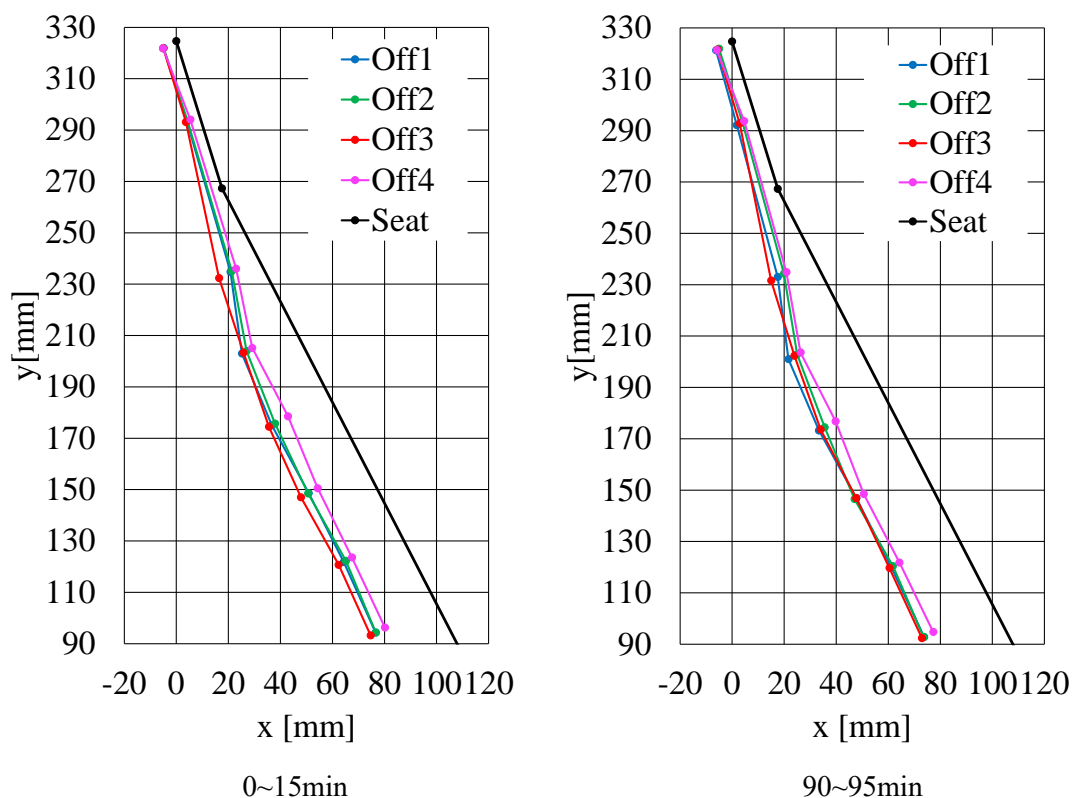


Fig.4.7 Posture Shape of Pattern 1 for Participant B

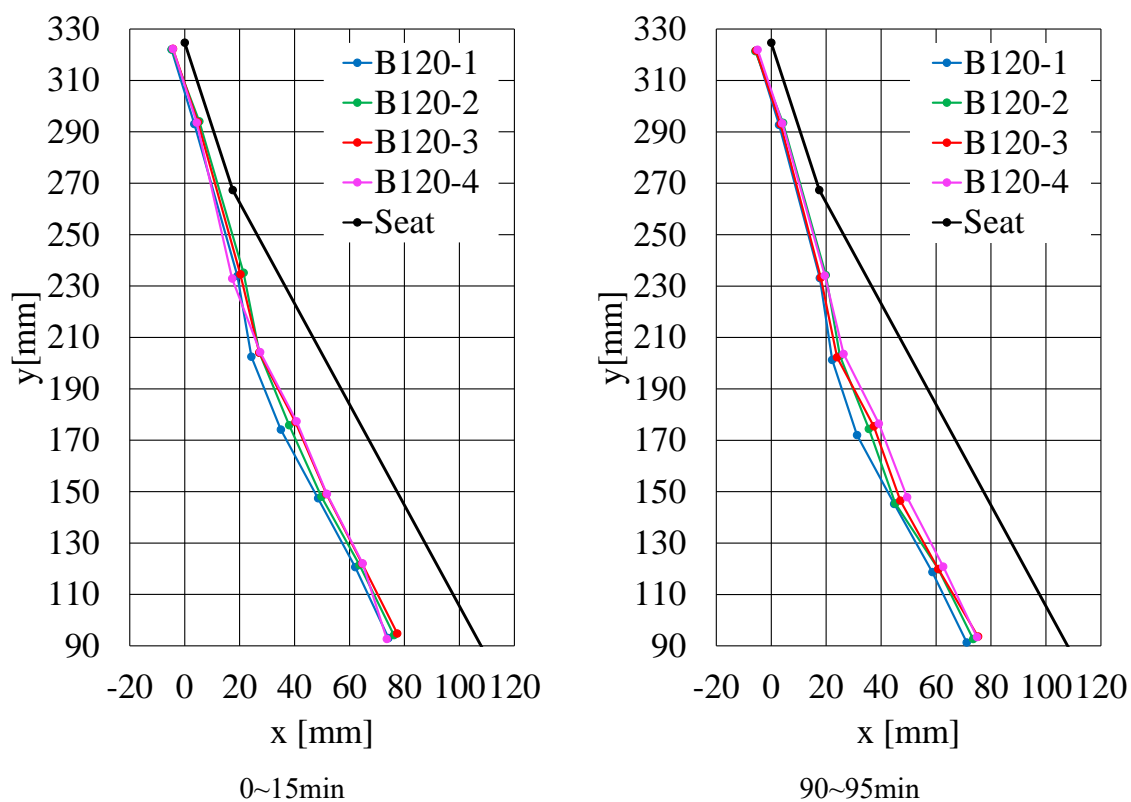


Fig.4.8 Posture Shape of Pattern 2 for Participant B

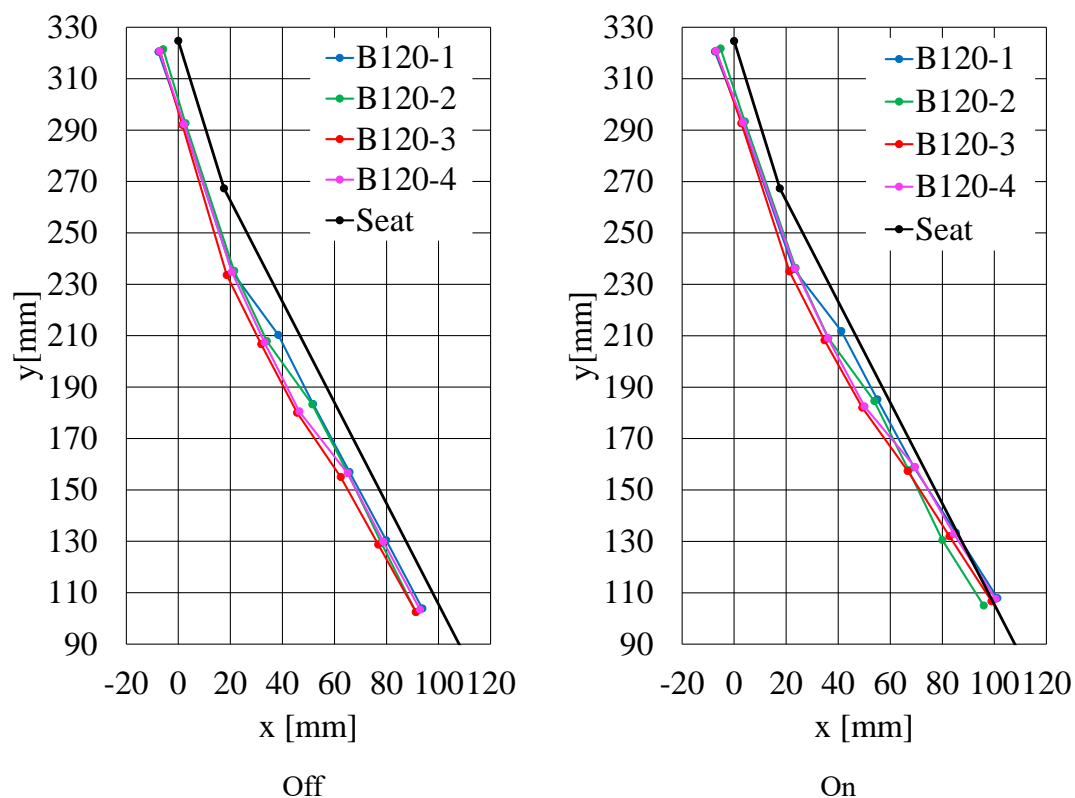


Fig.4.9 Comparison Between Pattern 1 and 2 for Participant A

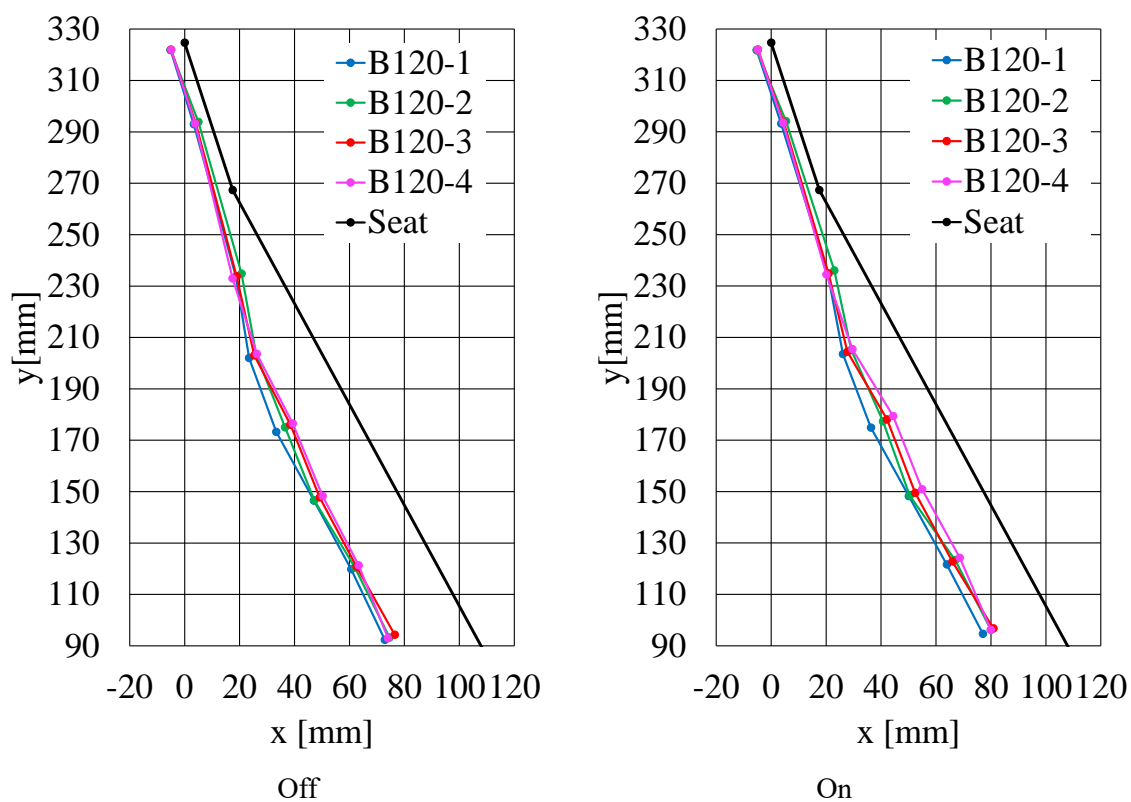


Fig.4.10 Comparison Between Pattern 1 and 2 for Participant B



Table4.1 Average Displacement of Pattern 1 for Participant A

	Off1	Off2	Off3	Off4	Average	SD
0~15	-10.3	-9.7	-13.2	-11.5	-11.2	1.4
15~30	-9.4	-8.6	-12.3	-11.7	-10.5	1.5
30~45	-9.1	-8.4	-11.9	-11.1	-10.1	1.4
45~60	-9.1	-8.2	-11.5	-11.0	-10.0	1.3
60~75	-9.0	-8.0	-11.1	-10.7	-9.7	1.3
75~90	-9.1	-7.8	-10.9	-10.6	-9.6	1.2
90~95	-9.0	-7.7	-10.6	-9.9	-9.3	1.0

Table4.2 Average Displacement of Pattern 2 for Participant A

	B120-1	B120-2	B120-3	B120-4	Average	SD
0~15	-9.3	-10.6	-13.9	-12.1	-11.5	1.7
15~30	-4.4	-7.7	-8.6	-6.7	-6.9	1.6
30~45	-7.4	-8.4	-10.8	-9.1	-8.9	1.2
45~60	-4.5	-6.0	-6.9	-5.0	-5.6	0.9
60~75	-7.4	-7.9	-9.9	-8.4	-8.4	0.9
75~90	-3.8	-5.4	-6.2	-5.3	-5.2	0.9
90~95	-6.9	-7.8	-9.0	-8.5	-8.1	0.8
Off	-7.9	-8.8	-11.3	-9.7	-9.4	1.2
On	-4.2	-6.4	-7.2	-5.7	-5.9	1.1

Table4.3 Average Displacement of Pattern 1 for Participant B

	Off1	Off2	Off3	Off4	Average	SD
0~15	-18.1	-17.4	-19.8	-14.7	-17.5	1.8
15~30	-18.8	-18.6	-20.6	-15.8	-18.5	1.7
30~45	-19.4	-19.0	-21.1	-16.2	-18.9	1.8
45~60	-20.0	-19.3	-21.1	-16.7	-19.3	1.6
60~75	-20.6	-19.6	-21.3	-17.2	-19.7	1.5
75~90	-21.1	-19.7	-21.2	-17.4	-19.9	1.5
90~95	-21.3	-19.8	-21.3	-17.5	-20.0	1.6

Table4.4 Average Displacement of Pattern 2 for Participant B

	B120-1	B120-2	B120-3	B120-4	Average	SD
0~15	-19.7	-17.6	-16.9	-17.8	-18.0	1.1
15~30	-17.4	-14.9	-15.0	-14.4	-15.4	1.2
30~45	-20.7	-19.2	-18.6	-19.1	-19.4	0.8
45~60	-18.1	-16.0	-15.9	-14.8	-16.2	1.2
60~75	-21.6	-19.9	-19.8	-19.1	-20.1	0.9
75~90	-19.2	-16.1	-16.4	-15.0	-16.7	1.5
90~95	-22.5	-20.3	-20.0	-18.5	-20.3	1.4
Off	-20.8	-19.0	-18.6	-18.6	-19.3	0.9
On	-18.2	-15.7	-15.8	-14.7	-16.1	1.3

### 4.1.3 試行毎の姿勢形状の推移の比較結果

本項では 2.1.3 項により説明した手法で、背面形状の評価をした結果を示す。なお、パターン 2 の結果では腰部支持装置による押出しを行っているが、本項では、押し出しの有無による差ではなく、時間経過による姿勢形状の推移を主に確認したいため、腰部支持を行っていない 0 分から 15 分、30 分から 45 分、60 分から 75 分、90 分から 95 分の実験結果を示すものとした。その際、パターン 1 の結果についても、すべての時間の結果を表示すると線が重なり過ぎてしまい、視認性が悪いと考えたため、パターン 2 と同様の時間で比較を行った。示すグラフは横軸も縦軸も座標系[mm]となっている。実験協力者 A のパターン 1 の実験結果を Fig.4.11 に、実験協力者 A のパターン 2 の実験結果を Fig.4.12 に、実験協力者 B のパターン 1 の実験結果を Fig.4.13 に、実験協力者 B のパターン 2 の実験結果を Fig.4.14 に示す。

実験協力者 A のパターン 1 の結果について、Off1 の姿勢変化は、0 分から 15 分が最も深く沈み込んでおり、45 分以降は姿勢がほとんど変動していないことが確認できる。動いている部位としては、B360 から B120 まですべての計測位置で平行移動していることが確認できた。Off2 の姿勢変化も、15 分以降の変動が大きく 45 分以降の時間帯の背面形状は変動が少ないことが確認できる。動いている部位としては、B210 から B120 までの胸椎下部から腰椎上部にかけてである。その結果、B240 の計測位置での折れ曲がり角が後半ほど大きくなっている。Off3 の姿勢変化としては、時間を重ねるごとにシート背面側に近づく変動をしており、Off1 や Off2 のように 15 分以降に 1 つの姿勢に落ち着く傾向が見られない。動いている部位は、B360 以外の計測位置で変動が起こっており、時間を追っても形状の変化はほとんどなく、シート背面側に平行移動していることが分かる。Off4 の姿勢変化としては 95 分通して変動が少ないことが確認できる。動いている部位としては、B360 などの胸椎中部が 15 分以降は沈み込みが解消されていることが確認できるほか、75 分以降に B270 より下である胸椎下部や腰椎上部がシート背面側に近づく変動をしていることが確認できる。そのため、15 分以前や 75 分以降と比較すると 15 分から 75 分の間の姿勢は垂直に近く、背面筋に負担のかかりやすい姿勢形状であると考えられる。

実験協力者 A のパターン 2 の結果について、B120-1 の姿勢変化は、15 分以降で大きく変動しているが、45 分以降の変動はほとんど見られない。グラフに表示していない時間には腰部支持を行っているため、腰部支持装置を作動させていない時間には同じ姿勢に戻っていることが確認できる。15 分以降で動いている位置は、B270 より下の胸椎

下部と腰椎上部であるため、腰椎部の押し出された S 字形状が後半ほど強くなっていると言える。B120-2 の姿勢変化も、腰椎部においては B120-1 と同様に 15 分以降で大きく変動し、45 分以降は変動が少ないことが確認できる。しかし、B210 より上の計測位置については、95 分かけて順にシート背面側に近づく方向へと変動している。そのため、後半に近づくほど全体の沈み込み量が少ない結果となっている。B120-3 の姿勢変化は、腰椎部は 15 分以降の変動が少ないが、胸椎部の変動は 95 分通して非常に大きいことが確認できる。そのため、30 分以降は後半になるにつれて胸椎や腰椎が直線的な姿勢形状へと変化していることが分かる。B120-4 の姿勢形状の変化は、15 分以降と 45 分以降で変動しており、75 分以降はほとんど変動が無いことが確認できる。実験開始時の姿勢形状は胸椎下部のうち、B210 のみがシート背面に沈み込んだ形状をしているため、不自然に曲がった形状となっていると言える。その後の変化としては、腰椎部が 15 分以降で大きく変動しているほか、胸椎部は 15 分から 30 分と 45 分から 60 分の間に順にシート背面側に変動している。その結果、30 分以降の姿勢形状は背骨の形状が S 字に近く負担が小さい形状であると言える。

次に実験協力者 B のパターン 1 の結果について、Off1 の姿勢変化は、95 分間変動が続いており、1 つの姿勢に安定せずゆっくりと沈み込んでいっていたことが確認できる。特に B330 以下の胸椎から腰椎上部にかけて全体的に沈み込んでおり、ほとんど形状が変わらないまま平行移動していると言える。Off2 の姿勢変化は、15 分以降に大きな変動があり、45 分以降は腰椎部のみ変動が起こっているという特徴がある。15 分以降に主に変動の起こっている位置は B240 より下の胸椎や腰椎の部分だが、45 分以降は B180 から B120 の腰椎の部分のみにとどまっている。この腰椎の変動は、45 分以降は時間とともに少なくなっている。形状を見ると他の 3 本の試行結果と比べても背面の S 字形状がはっきり確認でき、体への負担が少ない姿勢であると考えられる。Off3 の姿勢変化は 5 分以降に変動が起こっているが、45 分以降はほとんど姿勢変動が起こらず、安定した姿勢になっている。15 分以降で変動している部位は、B270 より下の胸椎下部や腰椎上部だが、B180 の計測位置だけほとんど変動していない結果となった。Off3 は実験開始時から B270 が他の 3 本の試行結果よりシート背面に深く沈み込んだ変位となっており、15 分以降の変動でより深い変位となっているため、後半になるほど背中に負荷のかかりやすい姿勢形状に変化したと言える。Off4 の姿勢変化は 75 分ごろまでの変動が多くなっている。15 分以降の変動が最も大きく、45 分以降の変動が次いで多い。この試行結果は、実験開始時から B210 の計測位置の沈み込みが少し浅い形状をしていた

が、時間を追うごとに B180 の沈み込みが深くなることで、B210 が相対的に飛び出し、時間経過と共に不自然な方向に曲がる変化をしていると考えられる。そのため、後半の方が負荷のかかる姿勢形状へと変化したと言える。

実験協力者 B のパターン 2 の結果について、B120-1 の姿勢変化は、B240 より下の胸椎下部と腰椎上部に大きく起こっており、腰椎部が時間経過とともにシート背面に近づく変動となっている。相対的に考えると後半ほど背面形状が S 字に近づいていると言える。B120-2 の姿勢変化は、15 分以降で B240 より下の計測位置である胸椎下部と腰椎上部が大きく沈み込む変動をしている。特に B180 の位置が局所的に時間を追うごとに深く沈み込んでおり、その上下の計測ポイントではあまり変動が起こっていないことから、B210 がシート背面側に飛び出す形状をしており、背面に負荷のかかる姿勢へと変化したと考えられる。B120-3 の姿勢変化は、B330 より下の計測位置で主に起こっており、15 分以降の変動と 45 分以降の変動が大きい。胸椎下部から腰椎にかけて変動が起こっているが、B180 の計測位置の変動が大きく、B210 の計測位置の変動は少ないため、骨格的に不自然な方向に曲がっていると考えられる。15 分以降は時間経過とともに変動の差が大きくなるため、後半ほど背中に負荷のかかる姿勢変化であると考えられる。B120-4 の姿勢変化は、B210 より下の計測位置は 15 分以降に沈み込む方向に大きく変動し、45 分以降はほとんど変動が無いが、B270 の計測位置は 75 分以降でシート背面に近づく変動が起こっている。この試行結果は他の 3 本の結果に比べて沈み込みが少なく、実験時間中はシート背面から浅い位置で推移できていたと考えられる。また、時間経過と共に、わずかではあるが B210 の計測位置のみシート背面に近づく変動が起こっており、B120-2 や B120-3 ほどではないが、骨格上不自然な方向に曲がっていると言える。また、90 分以降のみ、B270 の計測位置がシート背面側に近づく変動をしたことにより、胸椎中部が直線的な形状になり、疲労の蓄積しやすい姿勢へと変化していることがわかる。

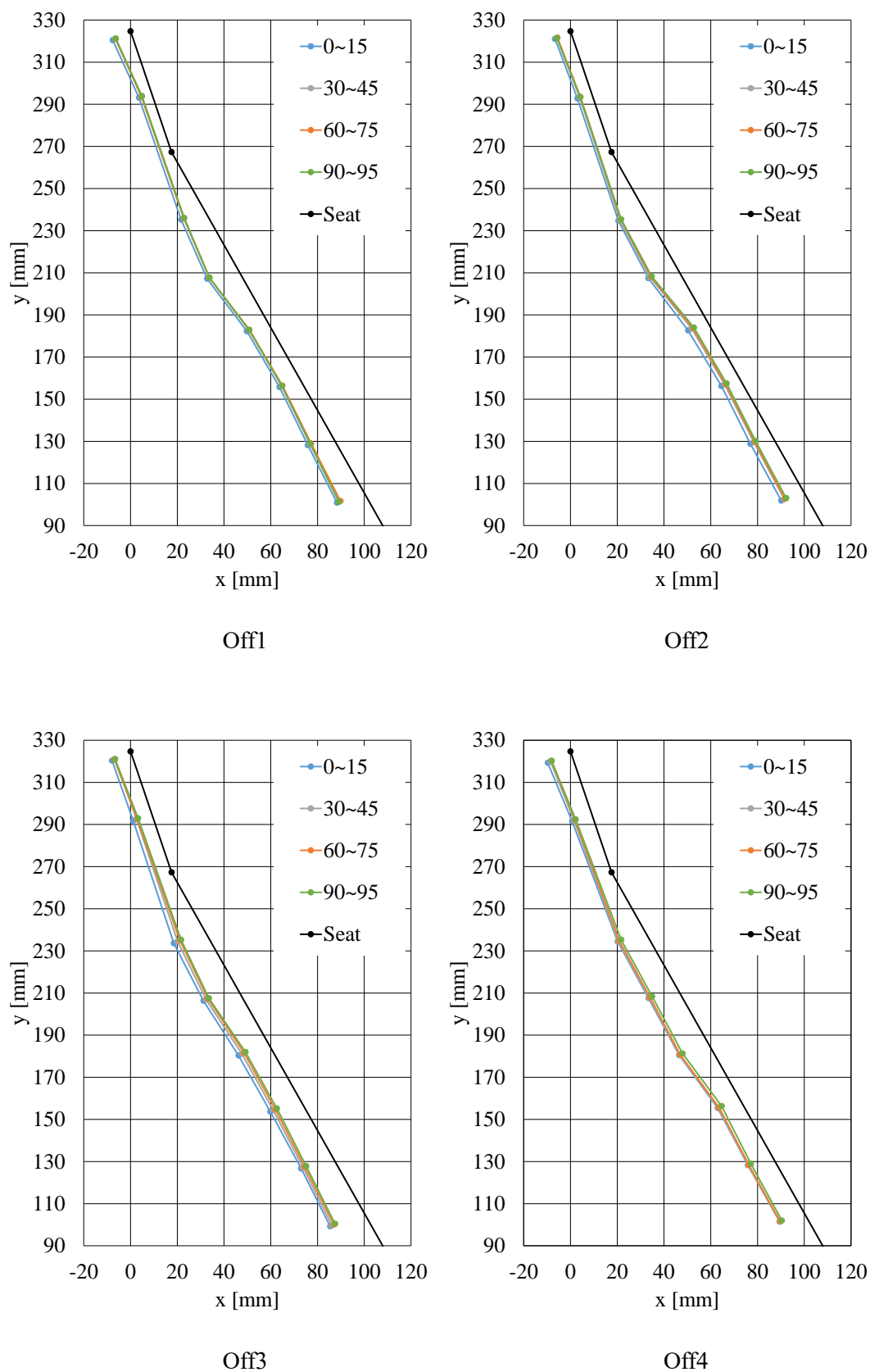


Fig.4.11 Postural Shape Change in Pattern 1 for Participant A

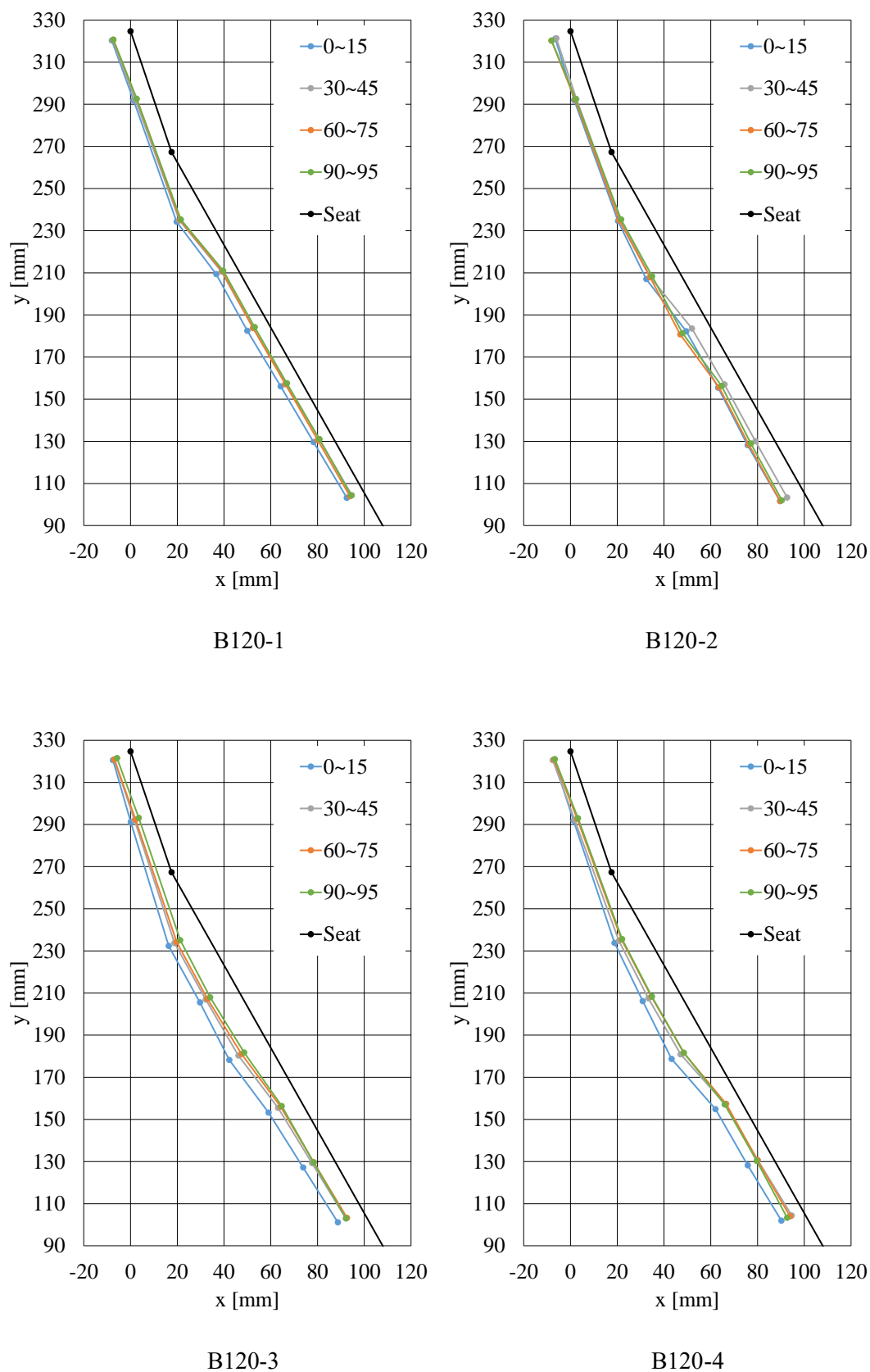


Fig.4.12 Postural Shape Change in Pattern 2 for Participant A



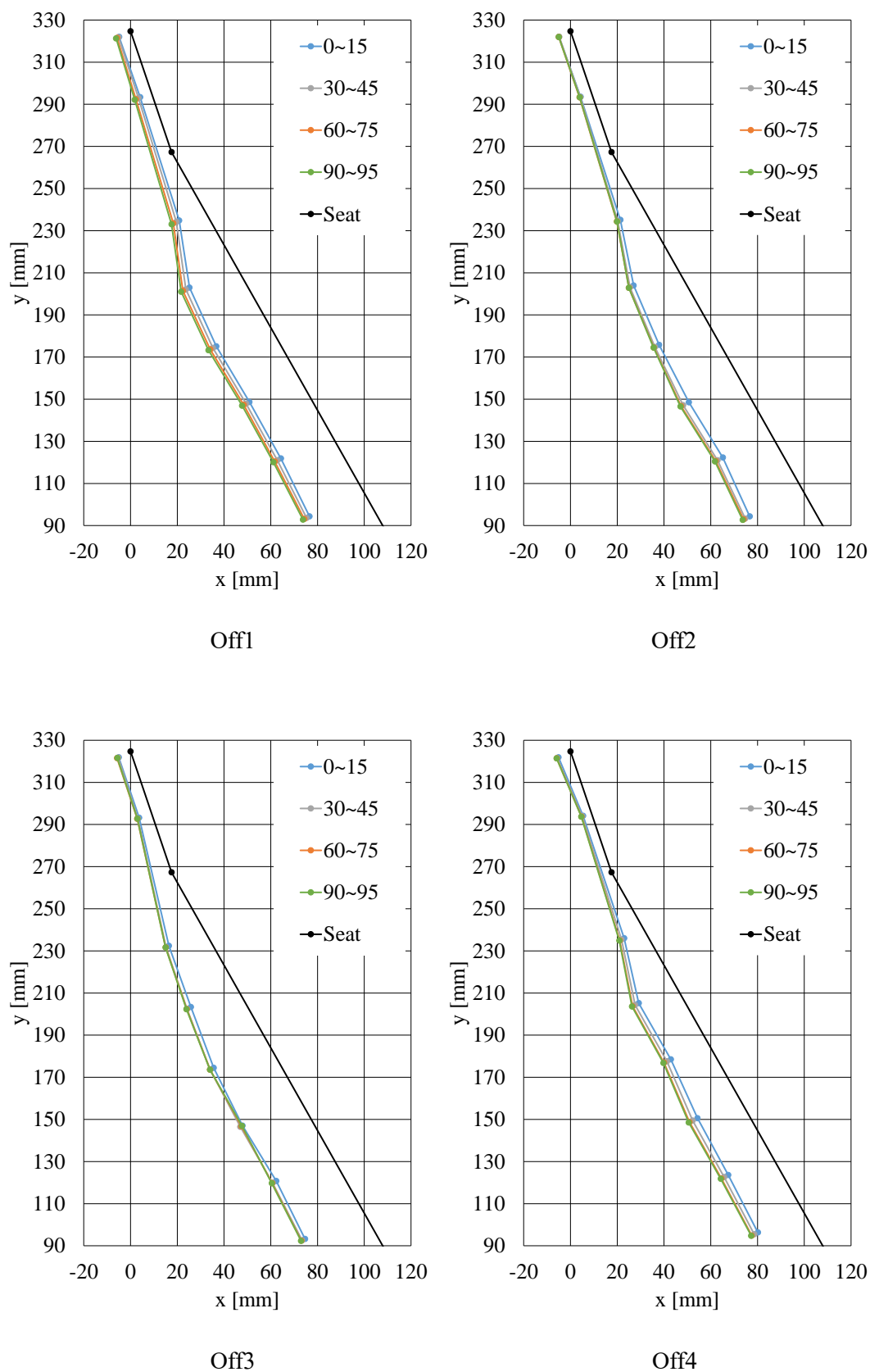
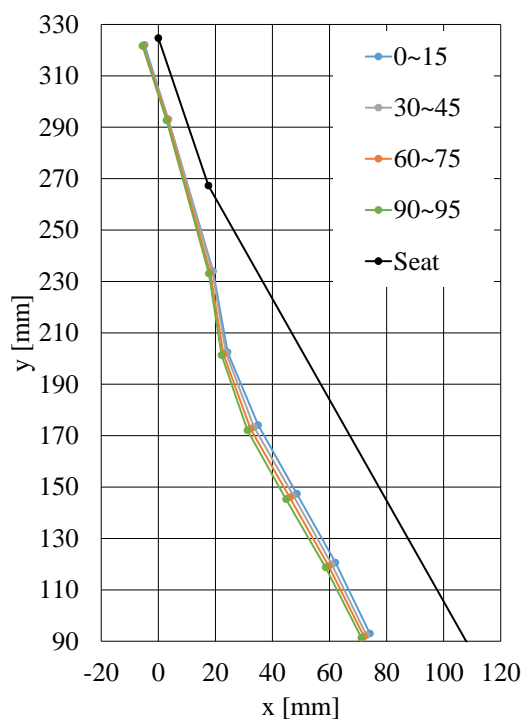
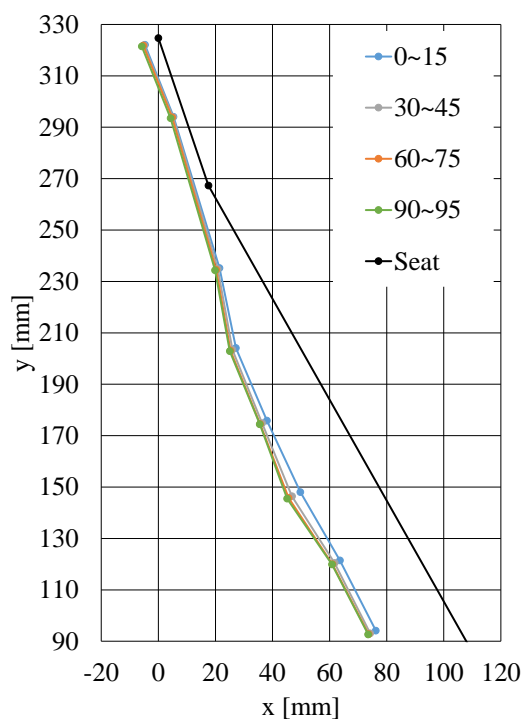


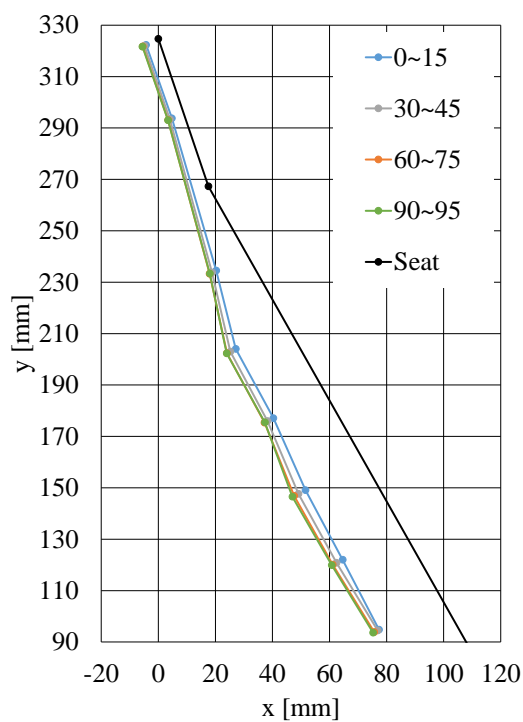
Fig.4.13 Postural Shape Change in Pattern 1 for Participant B



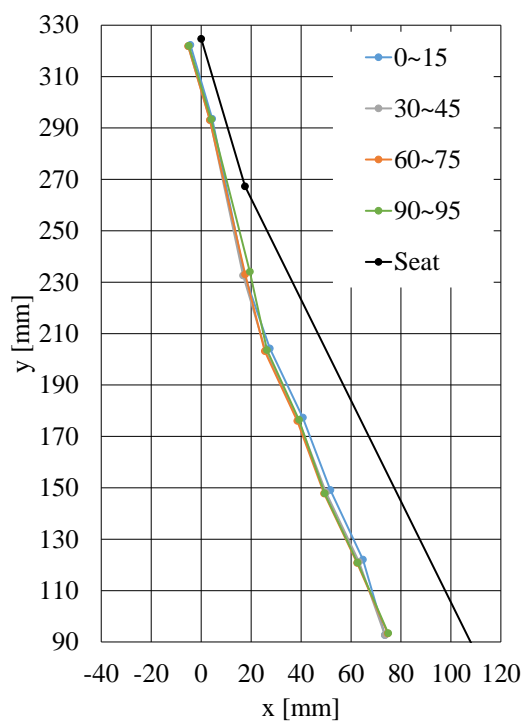
B120-1



B120-2



B120-3



B120-4

Fig.4.14 Postural Shape Change in Pattern 2 for Participant B

#### 4.1.4 姿勢形状の折れ曲がり角の評価

本項では、2.1.3 項により説明した手法を用いて、折れ曲がり角を評価した結果を示す。改めて説明を行うと、B120 の計測位置と B150 の計測位置をつなぐ直線と、B150 の計測位置と B180 の計測位置をつなぐ直線の角度[°]を、B150 の折れ曲がり角と定義し、同様に他の計測位置についても計算を行った。これらの結果の評価を行う上で、角度が負の場合は、下の計測点よりも垂直に近く反った形状であり、角度が正の場合は平行に近く丸まった姿勢となるよう計算を行った。人間の背骨は S 字形状となっているため、負の方向に曲がりやすい骨と、正の方向に曲がりやすい骨がある。本研究に協力してもらった実験協力者の骨格では、二名とも B270 の計測位置が胸椎 T9 に、B180 の計測位置が腰椎 L1 に相当したため、B270 付近の骨と B180 の骨付近で折れ曲がりが発生すると考えられる。特に、B270 から B180 までの正の数値を取っている区間を猫背姿勢区間と表現する。ただし、曲がりやすさなどに個人差もあると考えられるため、すべての計測位置での折れ曲がり角について絶対値を取り、平均と標準偏差を計算した。その結果を Table4.5 に示す。そして標準偏差の 2 倍の大きさの折れ曲がり角までは向きに関わらず正常な曲がり方として考え、それを超える範囲の曲がり角は急な角度変化として捉えた。そのため、実験協力者 A では標準偏差の 2 倍の  $13.5^{\circ}$ 、実験協力者 B では  $13.2^{\circ}$  より大きな角度での変化を急な角度変化と定義し、評価を行った。実験協力者 A のパターン 1 の結果を Table4.6 に、実験協力者 A のパターン 2 の結果を Table4.7 に、実験協力者 B のパターン 1 の結果を Table4.8 に、実験協力者 B のパターン 2 の結果を Table4.9 に示す。単位は全て[°]である。

実験協力者 A の結果は、B330 より下の計測位置から猫背姿勢区間が始まり、B270 から B240 の計測位置がシート背面に沈み込むことで背面の S 字形状を形成していたため、B330 は負の値を、B270 から B240 付近までは正の値を、B210 より下の計測位置では負の値を取っているのが標準的な形状と推察できる。

パターン 1 の結果は、Off1 は実験開始時も実験終了時も B270 と B240 が正の値を取っており、B210 と B180 で負の値を取っているため、標準的な姿勢形状であると言える。また、時間が経過しても全箇所折れ曲がり角の変化は少ないが、実験終了時の B240 の角度が  $13.5^{\circ}$  と、急な折れ曲がり角にはなっているため、少し負担のかかる姿勢とはなっているが、S 字形状がはっきりしているとも捉えられる。Off2 も、実験開始時も実験終了時も B270 と B240 が正で、B210 と B180 が負の値を取っているため、S 字形状ができていると言える。実験開始時と実験終了時を比較すると、正の値を取っていた折

れ曲がりも、負の値を取っていた折れ曲がりも、共により大きな角度となっており、実験終了時の方が S 字形状が明確になったと言える。Off3 は、Off1 や Off2 に比べて、全体的に折れ曲がり角の数値が小さく、直線的な姿勢形状となっているため、S 字形状が明確ではないことが分かる。実験開始時よりは実験終了時の方が、腰部の折れ曲がり角が負の方向に大きくなっており、S 字形状が明確になったと言える。Off4 は、実験開始時は B240 と B180 では正の値を取っているが、B210 では負の数値となっている。このように猫背姿勢区間において局所的にシート背面に近づく形状は骨格上不自然な方向に曲がっていると言える。この特徴は実験開始時より実験終了時の方が明確に見られる。

実験協力者 A のパターン 2 の結果について、B120-1 は、B270 で正の数値となる点はこの試行結果と似ているが、B240 で負の数値を取っており、S 字形状の形成が胸椎中部で行われていることが確認できる。実験終了時も実験開始時も同様の結果が見られ、時間経過により大きくは変化しなかったものと思われる。B270 の角度はどちらも  $13.5^\circ$  を越えており、体に負担のかかる急な角度変化であると言えるが、シート背面への沈み込みは浅くなる姿勢形状とも考えられる。B120-2 は、実験開始時も実験終了時も B270 と B240 で正の値を、B180 で負の値を取っており、パターン 1 にもよく見られた標準的な姿勢形状であると言える。B120-3 は、実験開始時において、B270 と B210 で正の値を取っているが、B240 は負の値を取っている。この変化も、猫背姿勢区間で局所的に飛び出す姿勢形状をしていることから、骨格的に負担のかかる姿勢形状であると言える。実験終了時にはこの特徴は改善されているが、B270 から B210 の広い範囲でシート背面への沈み込みが発生し、胸椎下部より下が直線的になる形状へと変化している。B120-4 は、実験開始時も実験終了時も、B270 から B210 で正の値を、B180 で負の値を取っているが、B210 で正の値の最大値を取っており、B210 より上での角度の変化は小さいものとなっている。そのため、胸椎中部は直線的な形状となっていると言える。実験開始時の B210 の角度は  $13.5^\circ$  を越えているため、急な折れ曲がり角であると言えるが、実験終了時には改善されていることが確認できる。また、腰部支持による差については、B120-1 と B120-2 は、それぞれ負の角度の最大値と正の角度の最大値が腰部支持によってより大きな数値となっているため、S 字形状がより明確になったと言える。B120-3 と B120-4 については、同様の差は見られなかった。

実験協力者 B の結果は、B270 の計測位置から猫背姿勢区間が始まり、B240 から B210 の計測位置がシート背面に沈み込むことで背面の S 字形状を形成していたため、B270 より上の計測位置は負の値を、B240 から B210 付近までは正の値を、B180 より下の計

測位置では負の値を取っているのが標準的な形状と推察できる。

パターン1の結果について、Off1は、実験開始時も実験終了時もB270より上が負で、B240からB210が正、B180より下が負となっており、S字形状が明確に見られる。しかし、実験開始時も実験終了時もB240の角度が $13.2^{\circ}$ より大きく、急な角度変化が起こっていると言える。Off2は、実験開始時も実験終了時もB270より上が負で、B240からB180が正、B150が負となっており、S字形状が明確に見られる。また、急な角度変化もないことから、負担の少ないS字形状を実現できている。B150での変化は他の試行結果よりは大きな数値となっているが、角度は許容範囲内と考えられる。Off3は、実験開始時も実験終了時もB270が正の数値を取っており、他の試行結果と異なる形状であることが分かる。実験開始時はB270からB180まで正の値をとっており、猫背姿勢区間が胸椎中部から下部にかけての広範囲となっており、背中全体がシート背面に沈み込んだ形状となっている。実験終了時はB270からB210までが正の数値を取っており、急な角度変化も起こっていないことから、改善した傾向にあると言える。Off4は、実験開始時も実験終了時もB240の計測位置が負の数値を取っており、他の試行結果と異なる特徴を持っている。この試行結果では、B270とB210で正の値を取っており、猫背姿勢区間に相当すると考えられるため、B240の角度は骨格的に不自然な方向に曲がっていると言える。この不自然な方向へと曲がった形状は、実験終了時ほど明確に表れている。

パターン2の結果について、B120-1は、実験開始時も実験終了時もB270より上は負の数値を、B240からB210は正の数値を、B150から下は負の数値を取っており、緩やかでかつ明確なS字形状が確認できる。B180の計測位置は実験開始時は負の値を取っているが、0に近いので、直線的な姿勢形状であると言える。B120-2は、実験開始時はB270より上で負の数値を、B240からB180で正の数値を、B150より下で負の数値を取っているため、S字形状であることが確認できるが、実験終了時にはB210のみ負の数値を取っていることが確認できる。B240とB180は正の数値を取っていることから、猫背姿勢区間であるため、B210のみ局所的に負の方向の角度となっているのは、骨格上不自然な方向に曲がっていると言える。B120-3は、実験開始時も実験終了時もB210のみ局所的な負の傾きとなっている。こちらもB240とB180の曲がり角は正であることから猫背姿勢区間であり、B210の折れ曲がり角は骨格的に不自然な方向に曲がっていると言える。また、実験開始時も終了時もB240の曲がり角は $13.2^{\circ}$ を越えており、急な角度変化となっている。特に実験終了時は、B240折れ曲がり角もB210の折れ曲がり角

も数値が大きくなっているため、時間経過とともに負荷がかかると考えられる。B120-4 も、実験開始時も実験終了時も B210 が負の数値となっており、B240 と B180 が正であることから、猫背姿勢区間であり、B210 の折れ曲がり骨格上不自然な方向に曲がっていると言える。また、実験開始時は B270 が正の数値を取っており、猫背姿勢区間が B270 から始まっていたが、実験終了時には B270 は 負の数値を取っており、B240 から猫背姿勢区間が始まるよう変化した。この実験協力者では B240 から猫背姿勢区間が始まる方が標準的だと考えられるため、改善の変化だと考えられる。腰部支持による差については、B120-1 は B180 が負から正の折れ曲がりへと変化した。これは、B150 より下の計測位置が押出しによってシート背面側に推移したことが理由として考えられる。B120-2 から B120-4 については、各計測位置結果がそれぞれ数値の大きくなる方向へ変化したことが確認できた。これらのことから、腰部支持により S 字形状が明確になったと言える。ただし、B120-2 の B180 の計測点は押出しによって  $13.2^\circ$  を越えるよう変化したため、急な角度変化が引き起こされてしまったと言える。また、B120-3 も、B240 の計測点について、腰部支持を行っていない姿勢でも  $13.2^\circ$  を越えていたが、腰部支持により数値が大きくなったため、急な角度変化を引き起こしたと言える。

Table4.5 Bone Breakage Angle for Each Participant

	A	B
Average	4.9	5.6
SD	4.3	3.8

Table4.6 Folded Corner of Pattern 1 for Participant A

0~15min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
Off1	-5.1	4.3	12.7	-6.5	-4.1	0.8
Off2	-2.0	8.4	9.3	-6.1	-4.1	1.9
Off3	-1.0	8.3	5.1	-3.0	-1.0	-1.7
Off4	-1.7	7.3	-0.3	7.5	-7.9	1.4

90~95min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
Off1	-4.9	3.5	13.5	-6.6	-3.8	-0.1
Off2	-2.8	9.0	10.8	-8.8	-3.4	1.3
Off3	-1.7	5.6	8.2	-4.7	-2.1	-0.3
Off4	-1.5	7.4	-0.6	8.2	-9.2	1.6



Table4.7 Folded Corner of Pattern 1 for Participant A

0~15min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-0.4	16.6	-8.0	2.1	-0.4	0.3
B120-2	2.6	5.6	10.8	-7.5	-2.3	2.8
B120-3	0.9	11.1	-1.8	9.3	-4.4	0.2
B120-4	0.4	6.8	0.7	13.9	-10.7	1.3

90~95min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-1.3	18.5	-10.1	0.6	0.3	-0.5
B120-2	0.2	7.4	9.6	-8.3	-1.5	-0.4
B120-3	-1.2	8.3	3.7	3.3	-5.3	0.6
B120-4	-1.2	6.9	2.0	8.5	-8.4	-1.3

Average Time Off

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-1.0	17.9	-9.5	1.5	0.1	-0.3
B120-2	1.5	6.6	10.7	-8.2	-1.9	1.0
B120-3	-0.3	10.0	1.1	6.5	-5.1	0.1
B120-4	-0.4	6.8	1.9	11.2	-10.4	0.9

Average Time On

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-1.8	18.1	-9.7	0.6	4.1	-0.2
B120-2	0.8	5.8	11.0	-9.7	-0.5	6.4
B120-3	-1.2	8.9	2.2	6.3	-3.0	0.3
B120-4	-1.1	5.6	2.8	11.6	-9.7	2.6

Table4.8 Folded Corner of Pattern 1 for Participant A

0~15min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
Off1	-1.5	-8.1	14.6	5.8	-1.5	-2.7
Off2	-1.7	-6.0	10.8	3.9	3.9	-6.6
Off3	-5.0	6.1	0.8	5.4	4.7	-4.7
Off4	-4.0	-5.4	15.8	-5.1	3.9	-1.1

90~95min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
Off1	-0.4	-7.6	15.5	5.8	-2.2	-1.6
Off2	-2.2	-6.0	11.3	1.9	7.1	-6.3
Off3	-5.5	5.8	2.4	7.8	-2.1	-0.5
Off4	-5.4	-5.6	16.8	-5.6	6.2	-1.5

Table4.9 Folded Corner of Pattern 1 for Participant A

0~15min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-1.1	-5.7	11.5	6.2	-0.1	-3.1
B120-2	-4.3	-4.8	10.6	1.8	4.7	-2.8
B120-3	-2.9	-2.0	13.4	-4.1	3.8	-0.6
B120-4	-4.9	7.6	6.6	-4.8	4.3	-9.0

90~95min

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-2.3	-6.0	9.2	9.5	0.8	-3.0
B120-2	-5.1	-5.5	11.0	-2.0	13.3	-6.6
B120-3	-3.6	-3.0	15.7	-8.0	9.0	1.5
B120-4	-2.7	-2.0	12.7	-5.6	6.2	-1.8

Average Time Off

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-1.9	-5.9	10.4	8.1	-0.2	-2.9
B120-2	-4.9	-5.3	10.8	0.1	9.2	-4.9
B120-3	-3.3	-2.3	14.2	-5.2	5.7	1.3
B120-4	-4.2	3.9	9.2	-4.8	4.9	-5.3

Average Time On

	B330	B270	B240	B210	B180	B150
B120-1	-1.1	-6.2	9.6	7.7	0.2	-1.5
B120-2	-4.2	-5.6	11.3	-3.9	14.7	-7.9
B120-3	-2.8	-2.8	16.0	-8.9	7.1	2.9
B120-4	-3.1	3.2	11.6	-9.4	6.9	-5.2

#### 4.1.5 姿勢形状のデンドログラムによる分類結果

本項では、2.1.3 項により説明した手法を用いて背面形状を計算した結果を示す。また、その形状をデンドログラムによって分類した結果も示す。パターン1のデータは腰部支持を行っていないため、95分全区間の平均値から背面形状とその分類を示した。パターン2のデータは、定期的に腰部支持を行っているため、腰部支持を行っていない0分から15分、30分から45分、60分から75分、90分から95分の区間の平均値と、腰部支持を行っている15分から30分、45分から60分、75分から90分の平均値をそれぞれ計算し背面形状を計算した。背面形状のグラフは、横軸と縦軸ともに座標系[mm]であり、Seatはシート形状を示している。各試行結果の名前と色の対応は形状グラフ右上に示してある。右側の分類の各数字はそれぞれの実験データの名前と対応している。実験協力者Aのパターン1の実験結果をFig.4.15に、実験協力者Aのパターン2の腰部支持を行っていない時間での実験結果をFig.4.16に、実験協力者Aのパターン2の腰部支持を行っている時間での実験結果をFig.4.17に、実験協力者Bのパターン1の実験結果をFig.4.18に、実験協力者Bのパターン2の腰部支持を行っていない時間の実験結果をFig.4.19に、実験協力者Bのパターン2の腰部支持を行っている時間の実験結果をFig.4.20に示す。

実験協力者Aのパターン1の結果は、Fig.4.15よりOff1とOff2、Off3とOff4が類似している結果が得られ、Off3とOff4はB210より下の計測位置の沈み込みが深いことが確認できる。実験協力者AはB180より下の位置が腰椎に相当するため、腰椎の沈み込みが大きいと言える。また、Off4は、B360の計測位置が他の3本に比べて沈み込みが深いという特徴も見られる。次に、パターン2の結果は、Fig.4.16より腰部支持を行っていない時間についてはOff1とOff2、Off3とOff4が類似している結果が得られ、こちらもOff3とOff4の沈み込みが深い結果が確認できる。そして、Fig.4.17より、腰部支持を行うことで腰椎部を中心にシート背面側に姿勢が押し出されていることが確認できる。B120の計測位置はB120-2の試行結果以外はシート背面よりも前面に出ている結果となっている。その結果、B120-1とB120-2の姿勢形状の類似度が下がった。

実験協力者Bのパターン1の結果は、Fig.4.18からOff1とOff2が似ており、次いでOff3、が類似している結果となっている。Off4は他の3つに比べて腰椎部を中心に最もシートへの沈み込みが浅く、姿勢形状としては類似していないことが確認できる。逆に、Off1はB240の計測位置が、Off3はB270の計測位置が沈み込んでいる形状となっている。また、Off4はB210の計測位置の変位のみが特に浅く、中折れ形状となっているが、

この実験協力者における B210 の計測位置は胸椎の T12 に相当し、本来はシートに沈み込む方向に曲がりやすい部位であることも考慮すると、少し不自然な向きに曲がっていると考えられる。続いて、パターン 2 の結果は、Fig.4.19 より腰部支持を行っていない時間では B120-3 と B120-4 が類似しており、次いで B120-1、B120-2 が類似している結果となっていた。主に差が出た計測位置は B210 の位置であり、B120-1、B120-2 がシート側に沈み込んだ形状となっている。その他には、B120 の計測位置は B120-3 の試行結果のみ浅い形状を示している。続いて、Fig.4.20 から、腰部支持を行っている時間の姿勢形状は腰部支持を行っていない姿勢形状よりも腰椎部がシート側に押し出されたことが確認できる。デンドログラムの結果からは B120-2 と B120-3 が類似した形状になっていることがわかる。腰部支持を行った姿勢でも主に B210 の計測位置に差があり、B120-1 が最もシートに深く沈み込んでおり、B120-4 が最も浅い姿勢であることが確認できる。ただし、形状としては B120-1 と B120-4 は不自然に折れ曲がる箇所が少なく、なめらかにつながっているのに対し、B120-2 と B120-3 は B210 の位置は浅く、B180 は深く、B120 の位置は浅くなっており、波打つ形状をしており、直線で近似しにくい姿勢であることが確認できる。

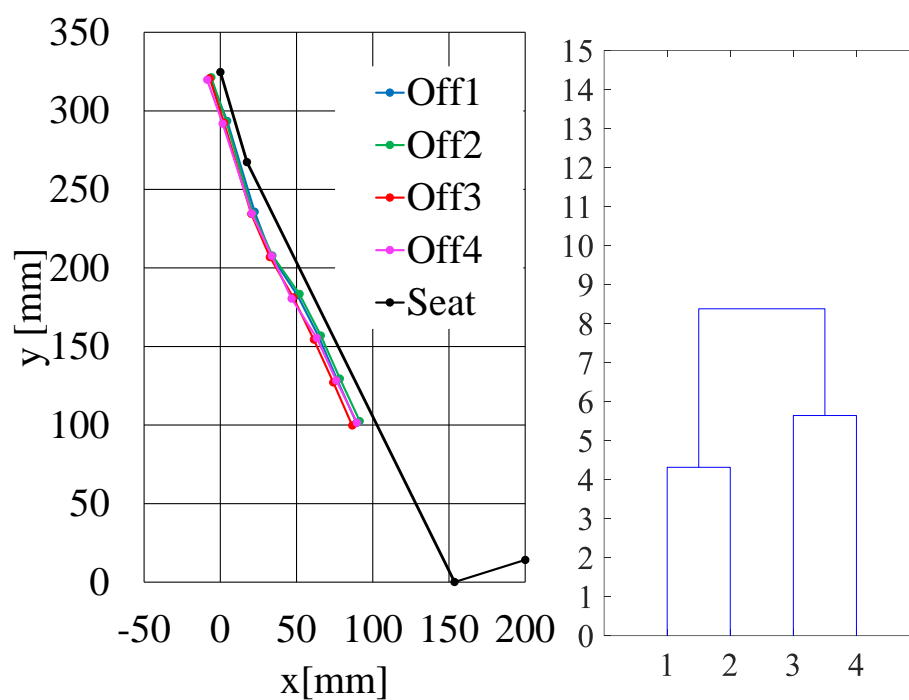


Fig.4.15 Average Posture Shape of Pattern 1 for Participant A

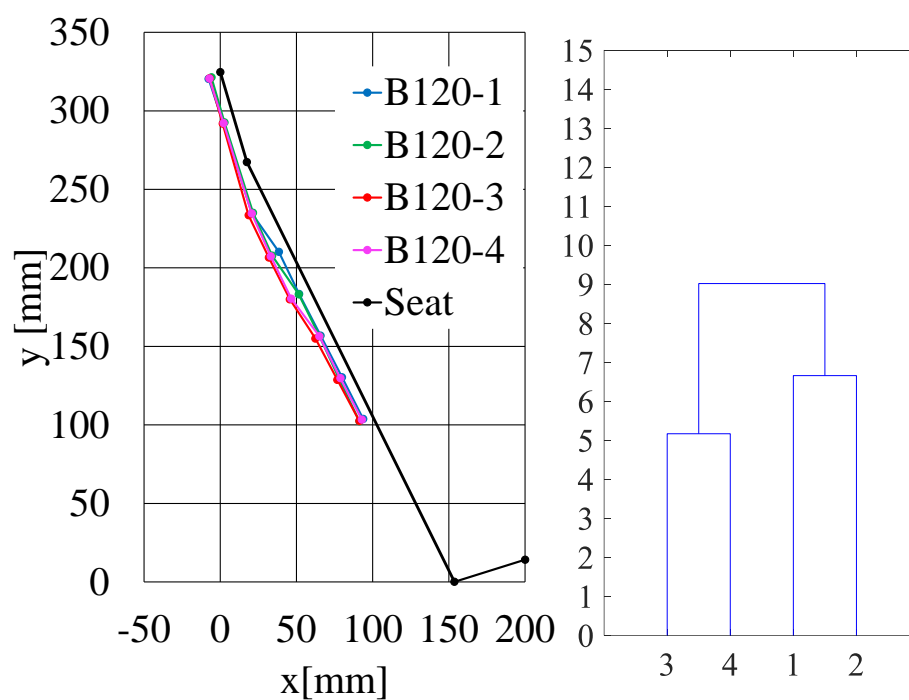


Fig.4.16 Average Postural Shape of Participant A  
During Time without Lumbar Support in pattern 2.

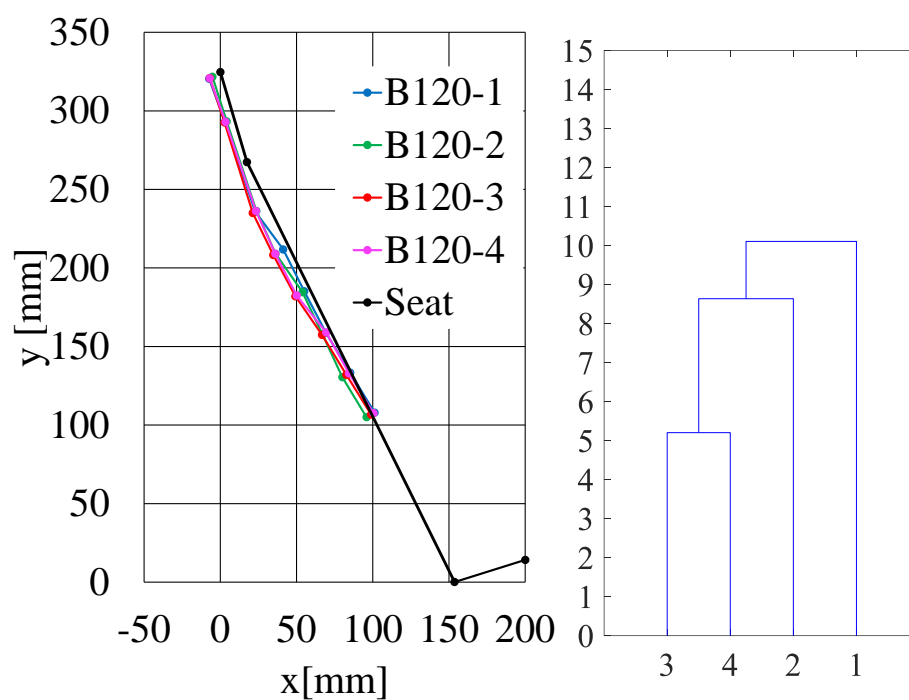


Fig.4.17 Average Postural Shape of Participant A  
During the Time of Lumbar Support in pattern 2.

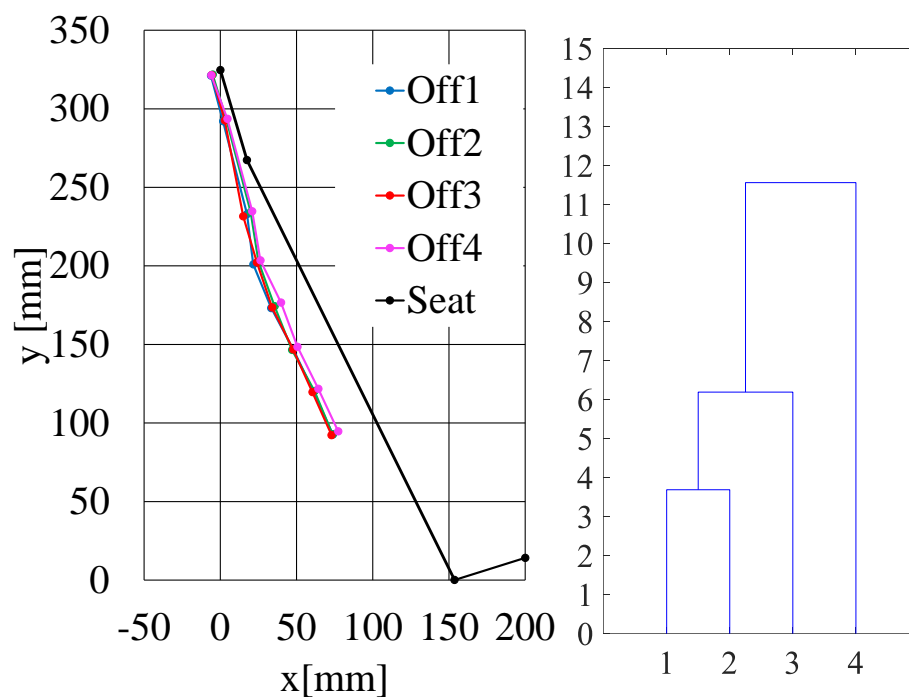


Fig.4.18 Average Posture Shape of Pattern 1 for Participant B



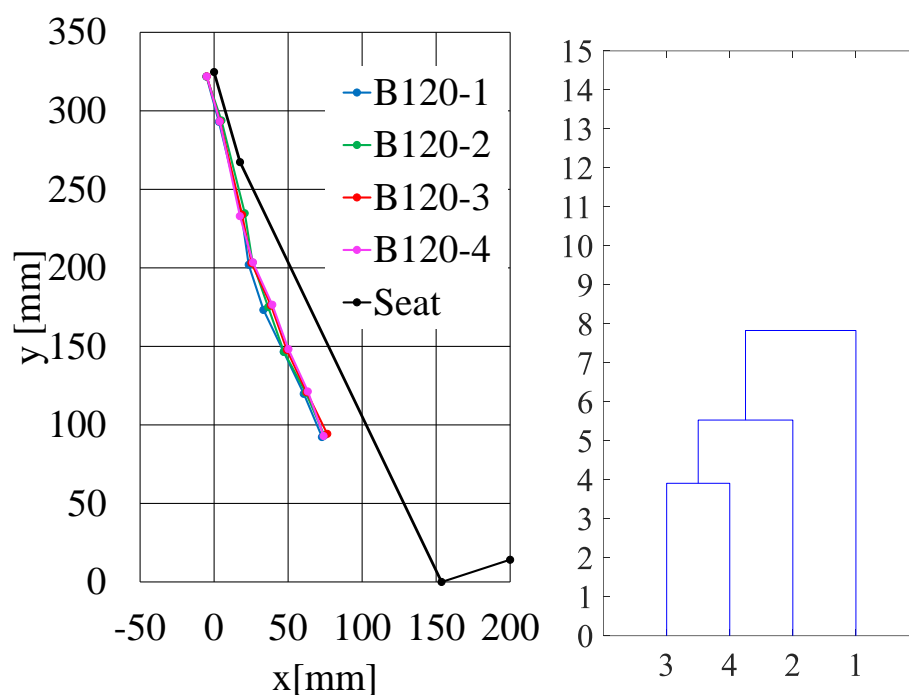


Fig.4.19 Average Postural Shape of Participant B  
During Time without Lumbar Support in pattern 2.

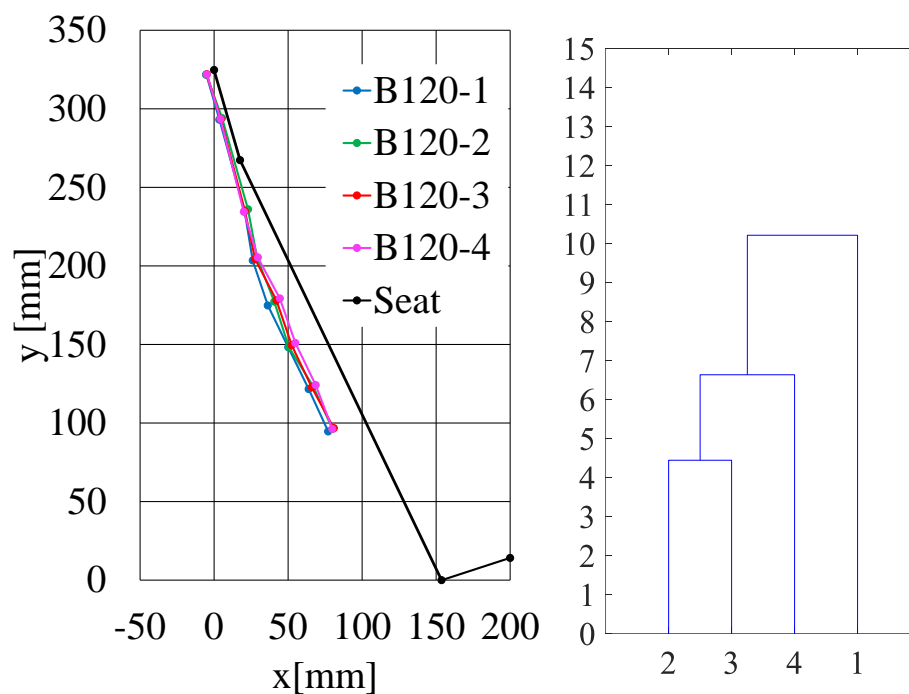


Fig.4.20 Average Postural Shape of Participant B  
During the Time of Lumbar Support in pattern 2.

## 4.2 NIRS 機器計測結果

### 4.2.1 StO<sub>2</sub> 変化量計測結果

本項では、2.3.2 項により説明した NIRS 機器による客観的疲労評価結果を示す。このグラフは、横軸が時間[min]、縦軸が StO<sub>2</sub> の値の上昇率[%]を示している。この StO<sub>2</sub> はうつ伏せ姿勢を 5 分間行うことで一定値に揃うよう努力しているが、運転シート着座直後もばらつきが生じてしまうため、2 分から 5 分の計測結果の平均を基準とした。また、StO<sub>2</sub> は数値が高いほど疲労値が低い結果として評価を行う。実験協力者 A のパターン 1 の実験結果を Fig.4.21 に、実験協力者 A のパターン 2 の実験結果を Fig.4.22 に、実験協力者 B のパターン 1 の実験結果を Fig.4.23 に、実験協力者 B のパターン 2 の実験結果を Fig.4.24 に示す。

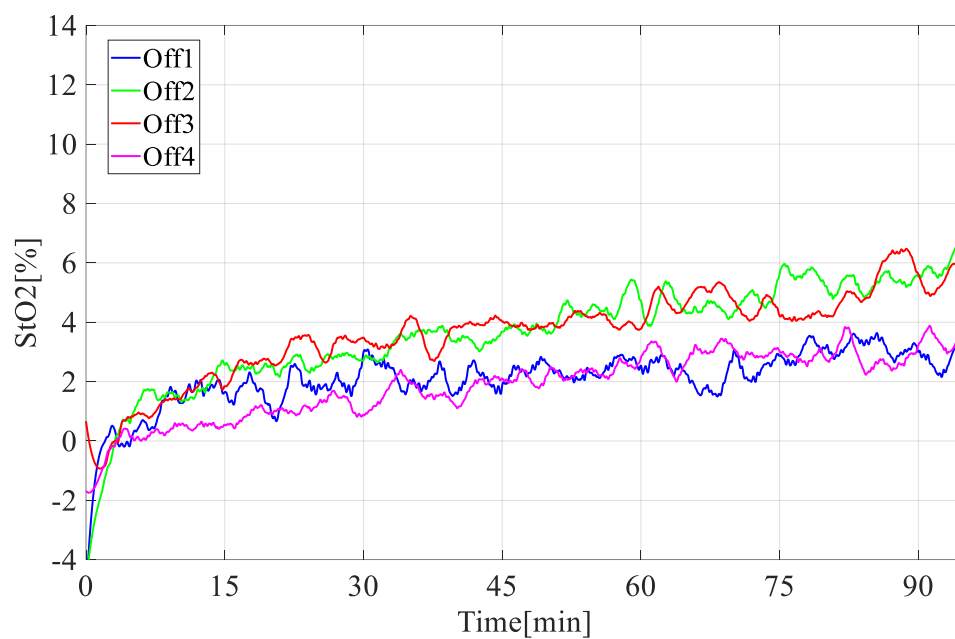
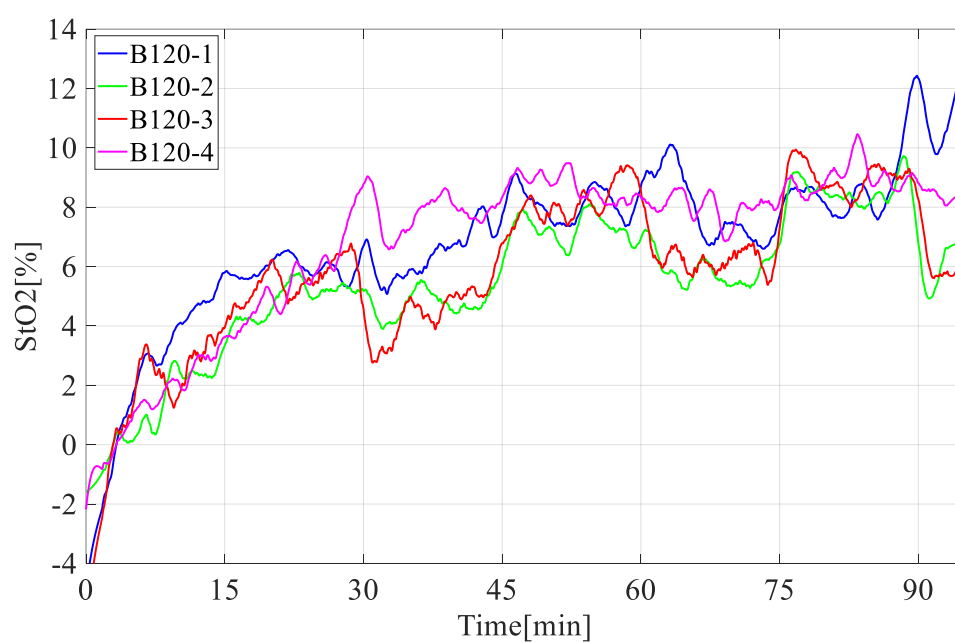
実験協力者 A のパターン 1 の結果は、Off1 と Off4 が低く、Off2 と Off3 が高い結果となっている。Off1 と Off2 は 30 分ごろから差が出ており、Off3 と Off4 は実験開始直後から差が出ている。

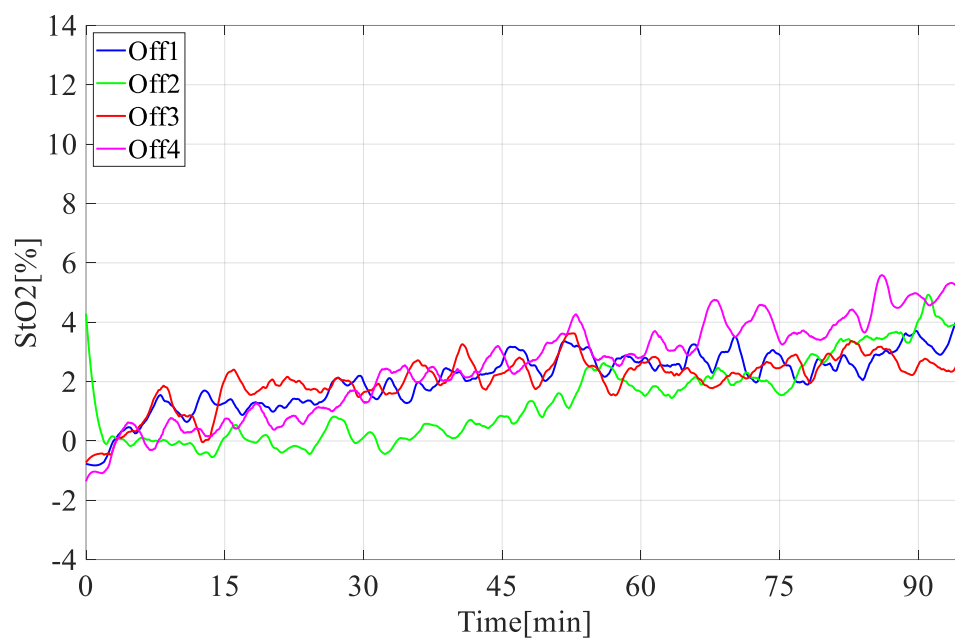
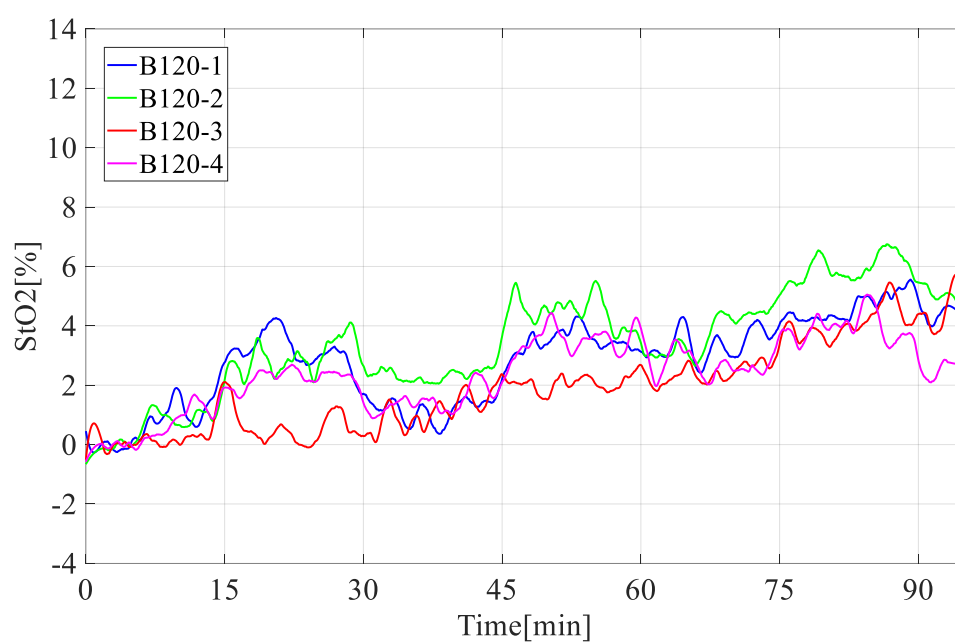
実験協力者 A のパターン 2 の結果は、実験開始から 30 分ごろまでは大きな差がないが、30 分からはそれぞれ差が出ている。B120-1 と B120-2 は 30 分から 45 分と 60 分から 75 分と 90 から 95 分の間で数値が B120-1 の方が高くなっており、ほかの時間帯では大きな差はない。B120-3 と B120-4 は、75 分から 90 分の時間以外は B120-4 の数値が高い結果となっている。

実験協力者 B のパターン 1 の結果は、実験開始から 60 分ごろまでは Off2 の数値が他の 3 本のデータに比べて低く、60 分ごろからは Off4 の数値が他の 3 本のデータに比べて高い結果となっている。最終値はほとんど一致しており、試行結果毎に大きな差がない結果となっている。

実験協力者 B のパターン 2 の結果は、実験開始から 15 分ごろまでは全ての試行結果にあまり差が見られないが、15 分以降には差が生じている。特に B120-2 は、30 分から 45 分や 65 分ごろから 90 分までの区間でほかの 3 本よりも高い数値となっている。また、B120-3 は 15 分から 30 分や、45 分から 60 分などの腰部支持を行っている時間にあまり数値が上がらない結果となっている。

どちらの実験協力者の結果についても、本研究では腰部支持による差の比較を行うことを目的としていないため、パターン間の比較は省略する。

Fig.4.21 Change in StO<sub>2</sub> in Pattern 1 for Participant AFig.4.22 Change in StO<sub>2</sub> in Pattern 2 for Participant A

Fig.4.23 Change in StO<sub>2</sub> in Pattern 1 for Participant BFig.4.24 Change in StO<sub>2</sub> in Pattern 2 for Participant B

#### 4.2.2 加速度センサーによる体動評価結果

本項では、2.3.3 項により説明した体動評価の結果を示す。実験協力者 A のパターン 1 の実験結果を Table4.10 に、実験協力者 A のパターン 2 の実験結果を Table4.11 に、実験協力者 B のパターン 1 の実験結果を Table4.12 に、実験協力者 B のパターン 2 の実験結果を Table4.13 に示す。注意点として、90 分から 95 分のみ 5 分間の体動回数であり、ほかの時間は 15 分間の体動回数を示している。また、Table4.11 と Table4.13 について、表の色のついていない部分は腰部支持を行った時間帯を示している。

実験協力者 A のパターン 1 の結果について、Off1 は前半の時間に多い傾向が見られる。また、Off2 は 0 分から 45 分と 60 分から 75 分の体動回数が多い結果が得られた。体動の合計回数や前半に多い特徴からも、Off1 と Off2 が似ている傾向にあると考えられる。Off3 は 30 分から 75 分に体動が相対的に多くなっているが、全体的に回数が少ない結果となった。Off4 も同様に全体的に回数が少ないが、15 分までの体動回数だけ多い結果となった。パターン 2 の結果は、B120-1 は全体的に体動回数が少ないが、60 分から 90 分などに多い結果となっている。B120-2 も全体的に体動回数が少なく、B120-1 と回数が一緒となっている。また、0 分から 15 分と、30 分から 45 分の体動回数が多くなっており、1 回目と 2 回目の腰部支持では体動回数が減少する結果が得られている。B120-3 は 4 本の試行結果の中で最も体動が多い結果となっており、60 分以降の体動回数が比較的多い結果となっている。また、1 回目のみ腰部支持によって体動回数が減少する結果が得られた。B120-4 は、4 本の試行結果の中で最も体動回数が少ない結果となっている。特に、30 分から 45 分と、60 分以降は全て体動回数が 0 回となっており、前半のみ体動が発生していたことがわかる。1 回目の腰部支持では体動回数が減少した結果が得られた。パターン 1 の平均値とパターン 2 の平均値はパターン 2 の方が体動回数の少ない結果となった。また、パターン 2 の結果について、平均値で評価を行うと、1 回目と 3 回目の腰部支持では前の区間よりも体動回数が減る結果が得られた。

実験協力者 B のパターン 1 の結果について、Off1 は 90 分から 95 分では体動回数が 0 回となっているが、それ以外の区間ではほとんど 4 回体動が起こっており、95 分通して回数の変動が少ないと言える。Off2 は 30 分から 60 分の間の体動回数が非常に多い結果となっている。Off3 は 30 分以降で回数が多くなっている。90 分から 95 分は特に多く、中盤から後半にかけて体動回数が多いと言える。Off4 は 15 分までと 90 分以降の体動回数は少ないが、それ以外の区間は平均的に 3 回ほど体動が起こっており、大きな変動が無い結果となっている。続いて、パターン 2 の結果について、B120-1 は、90 分

以降は0回と少ないが、それまでは腰部支持を考慮すると平均的な推移をしている。3回の腰部支持すべてにおいて体動回数が減少している結果が得られた。B120-2は、2回目の押し出しでは腰部支持による体動の減少が見られるが、それ以外の時間は腰部支持を行っている時間帯も体動回数に変動せず変動が少ない傾向が見られる。B120-3は、90分から95分の5分間で体動が2回起こっており、ほかの区間と比べると多い結果が見られ、45分以降から体動が増えている傾向が見られる。1回目の押し出しでは腰部支持による体動の減少が見られるが、ほかの区間では見られない。B120-4も同様に90分以降の体動回数が多いが、ほかの時間帯では3回とも腰部支持による体動回数の減少が確認できる。実験協力者Bもパターン1の平均体動回数よりパターン2の平均体動回数の方が少なく、腰部支持を行うことで体動が減少する結果が得られた。また、腰部支持により体動回数が減少する傾向は実験協力者Aよりも顕著に表れた。

二名の実験協力者の結果から、腰部支持を行っている時間の体動が少なくなる結果が得られた。また、本研究において腰部支持の有無による疲労評価の比較は行っていないが、腰部支持を行うことで体動回数が減ることも確認できたため、今後は腰部支持の有無による差を比較する際に評価手法として役立てられる可能性があると考えられる。

Table4.10 Number of Body Movements in Pattern 1 for Participant A

	0~15 min	15~30 min	30~45 min	45~60 min	60~75 min	75~90 min	90~95 min	Sum
Off1	1	4	5	2	1	2	2	17
Off2	4	3	3	2	4	1	1	18
Off3	1	1	2	2	2	1	1	10
Off4	3	1	1	2	1	1	1	10
Average	2.3	2.3	2.8	2.0	2.0	1.3	1.3	13.8
SD	1.3	1.3	1.5	0.0	1.2	0.4	0.4	3.8

Table4.11 Number of Body Movements in Pattern 2 for Participant A

	0~15 min	15~30 min	30~45 min	45~60 min	60~75 min	75~90 min	90~95 min	Sum
B120-1	1	2	0	1	2	2	0	8
B120-2	2	1	2	1	1	1	0	8
B120-3	1	2	2	0	3	2	1	11
B120-4	3	1	0	2	0	0	0	6
Average	1.8	1.5	1.0	1.0	1.5	1.3	0.3	8.3
SD	0.8	0.5	1.0	0.7	1.1	0.8	0.4	1.8



Table4.12 Number of Body Movements in Pattern 1 for Participant B

	0~15 min	15~30 min	30~45 min	45~60 min	60~75 min	75~90 min	90~95 min	Sum
Off1	4	4	2	4	4	4	0	22
Off2	2	2	6	5	2	2	0	19
Off3	3	2	6	4	3	4	3	25
Off4	1	2	3	4	3	4	0	17
Average	2.5	2.5	4.3	4.3	3.0	3.5	0.8	20.8
SD	1.1	0.9	1.8	0.4	0.7	0.9	1.3	3.0

Table4.13 Number of Body Movements in Pattern 2 for Participant B

	0~15 min	15~30 min	30~45 min	45~60 min	60~75 min	75~90 min	90~95 min	Sum
B120-1	6	3	6	3	5	3	0	26
B120-2	2	4	3	1	2	3	1	16
B120-3	3	2	3	4	3	3	2	20
B120-4	2	1	3	2	3	2	2	15
Average	3.3	2.5	3.8	2.5	3.3	2.8	1.3	19.3
SD	1.6	1.1	1.3	1.1	1.1	0.4	0.8	4.3

### 4.3 指尖容積脈波による客観的疲労評価結果

本研究では、左手の指先で指尖容積脈波を計測することにより、客観的疲労評価を行った。本項ではその結果について説明する。横軸は時間[min]であり、縦軸が疲労値で数値が高いほど疲労が蓄積している。実験協力者 A のパターン 1 の実験結果を Fig.4.25 に、実験協力者 A のパターン 2 の実験結果を Fig.4.26 に、実験協力者 B のパターン 1 の実験結果を Fig.4.27 に、実験協力者 B のパターン 2 の実験結果を Fig.4.28 に示す。

実験協力者 A のパターン 1 の結果からは、Off1 と Off2, Off3 と Off4 に最終値が分かれている結果となっている。Off1 と Off2 は 30 分ごろから差が生じており、Off1 の方が低い結果となっている。また、Off3 と Off4 は 15 分ごろから差が生じ、Off3 の方が低い結果となっているが、60 分ごろからは Off4 の脈波筋疲労曲線の傾きが小さくなり、75 分頃ではあまり差がなくなっている。

実験協力者 A のパターン 2 の結果からは、B120-1 と B120-2, B120-3 と B120-4 に最終値が分かれる結果となっている。B120-1 と B120-2 は 30 分ごろから差が生じており、B120-1 の疲労値が低い結果となっている。B120-3 と B120-4 は実験開始時から差があり、B120-3 の疲労値が低い結果となっているが、30 分ごろから傾きが大きくなり、75 分頃に B120-4 と疲労値が近くなっている。

実験協力者 B のパターン 1 の結果は、あまり大きな差がない結果が得られた。その中でも、Off1 と Off2 は 45 分辺りまで傾きが類似している。またわずかな差ではあるが、最終値は Off3, Off1, Off4, Off2 の順に高い結果となっている。

実験協力者 B のパターン 2 の結果についても、大きな差がない結果となっているが、最終値は B120-2 と B120-3 が近く、B120-1 と B120-4 が近い結果となっている。ただし、B120-1 と B120-2 は 30 分から 60 分頃の曲線が類似しており、B120-3 と B120-4 は 0 分から 30 分ごろまで曲線が類似している結果となっている。

どちらの実験協力者の結果についても、本研究では腰部支持による差の比較を行うことを目的としていないため、パターン間の比較は省略する。

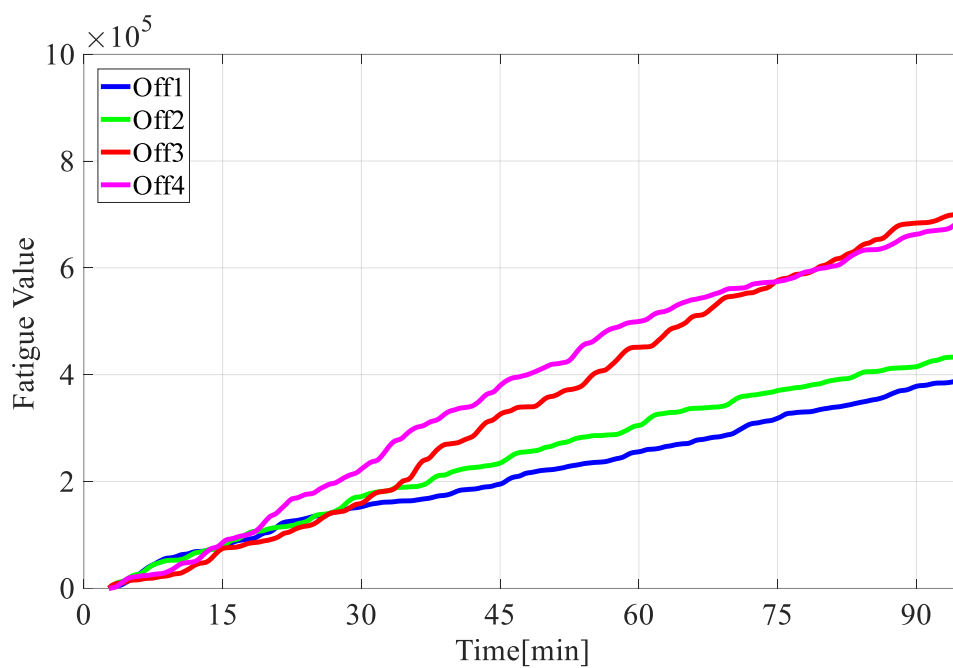


Fig.4.25 Fatigue Curve for Participant A in Pattern 1

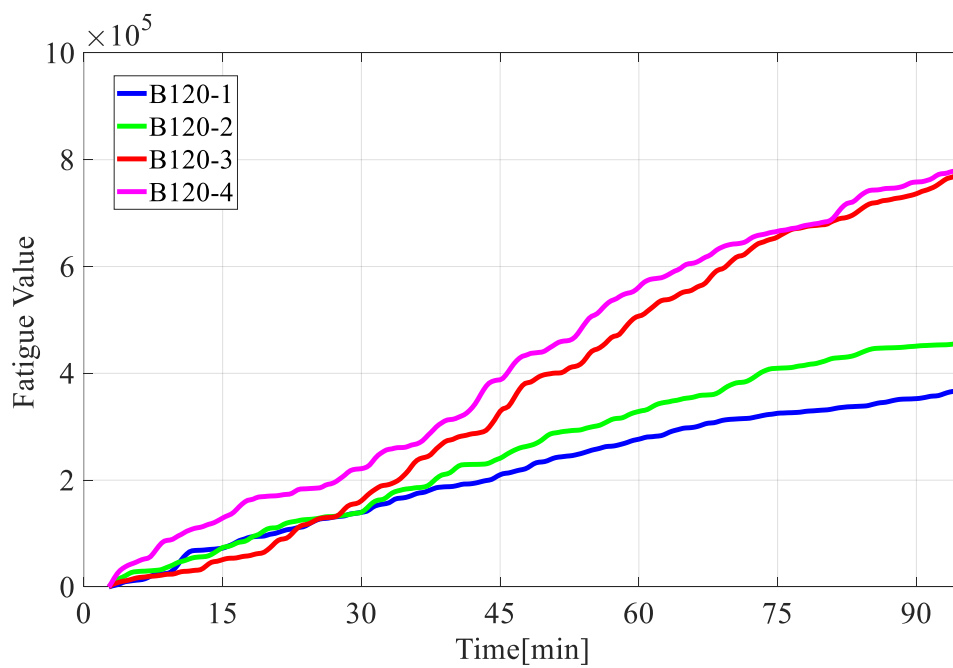


Fig.4.26 Fatigue Curve for Participant A in Pattern 2

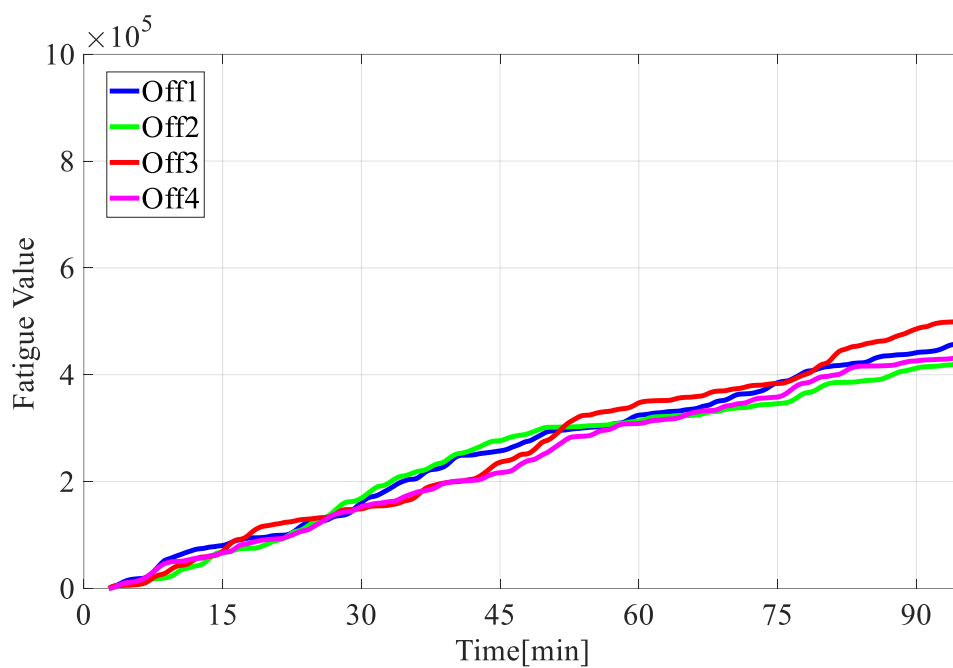


Fig.4.27 Fatigue Curve for Participant B in Pattern 1

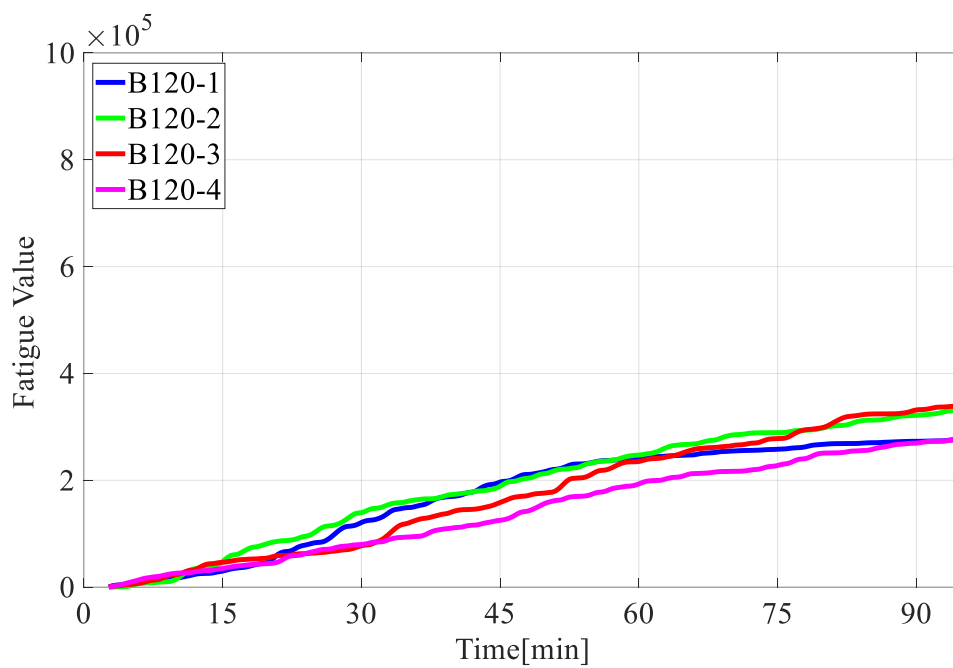


Fig.4.28 Fatigue Curve for Participant B in Pattern 2

## 4.4 主観アンケートによる主観的疲労評価結果

本項では主観アンケートの結果を示す。実験協力者 A のパターン 1 の実験結果について、腰部の結果を Fig.4.29 に、臀部の結果を Fig.4.30 に、背部の結果を Fig.4.31 に示す。実験協力者 A のパターン 2 の実験結果について、腰部の結果を Fig.4.32 に、臀部の結果を Fig.4.33 に、背部の結果を Fig.4.34 に示す。実験協力者 B のパターン 1 の実験結果について、腰部の結果を Fig.4.35 に、臀部の結果を Fig.4.36 に、背部の結果を Fig.4.37 に示す。実験協力者 B のパターン 2 の実験結果について、腰部の結果を Fig.4.38 に、臀部の結果を Fig.4.39 に、背部の結果を Fig.4.40 に示す。

実験協力者 A について、パターン 1 は Off1 背部の疲労感が大きく、パターン 2 は B120-1 の腰の疲労感が大きい点が挙げられる。ほかの数値のばらつきについては標準偏差内の変化にとどまっている。

実験協力者 B について、パターン 1 もパターン 2 も試行結果毎の差は標準編内のばらつきにとどまっており、主観的評価結果の差は少ないと捉えられる。

どちらの実験協力者の結果についても、本研究では腰部支持による差の比較を行うことを目的としていないため、パターン間の比較は省略する。

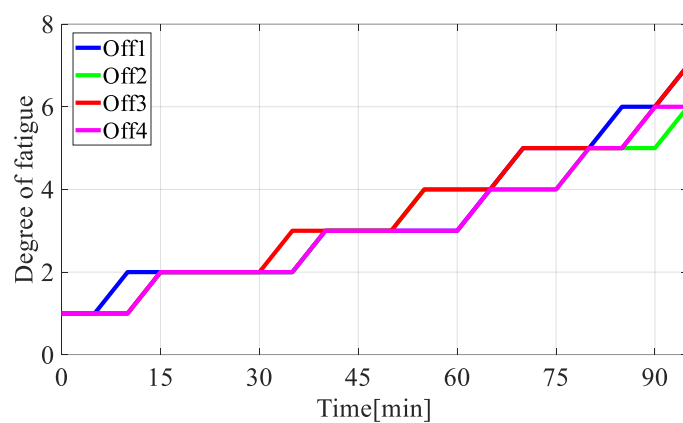


Fig.4.29 Results of Subjective Evaluation of the Lumbar Region in Pattern 1  
for Participant A

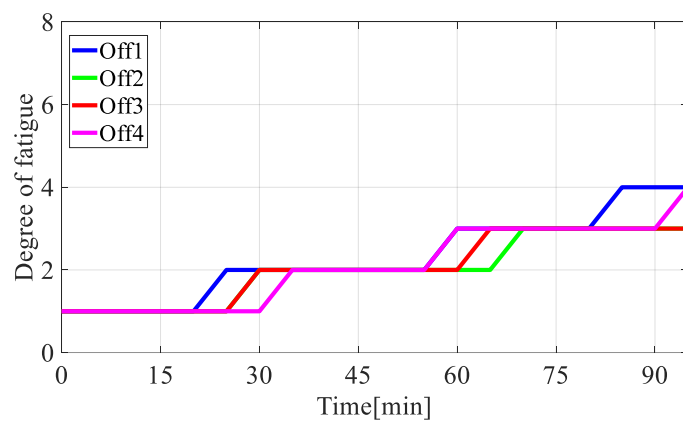


Fig.4.30 Results of Subjective Evaluation of the Buttocks in Pattern 1  
for Participant A

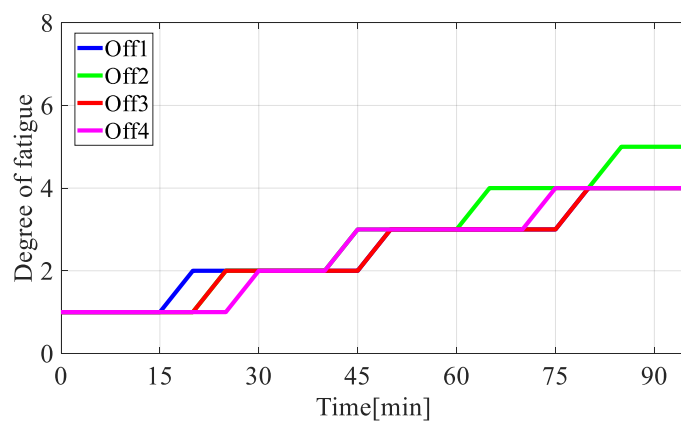


Fig.4.31 Results of Subjective Evaluation of the Back in Pattern 1  
for Participant A

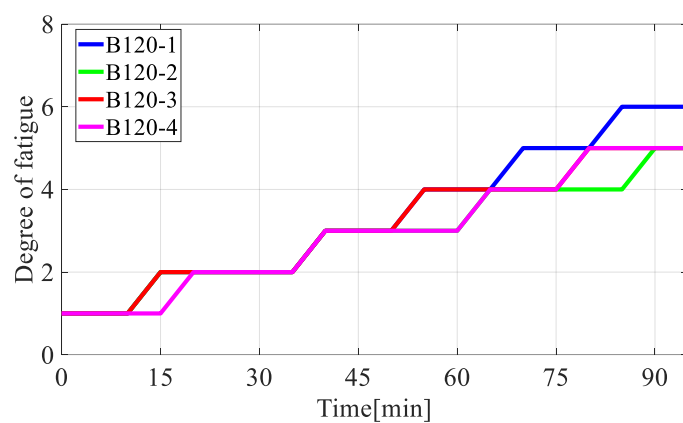


Fig.4.32 Results of Subjective Evaluation of the Lumbar Region in Pattern 2  
for Participant A

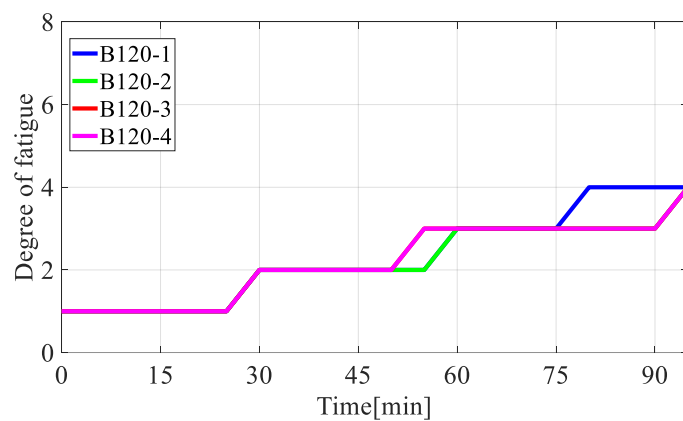


Fig.4.33 Results of Subjective Evaluation of the Buttocks in Pattern 2  
for Participant A

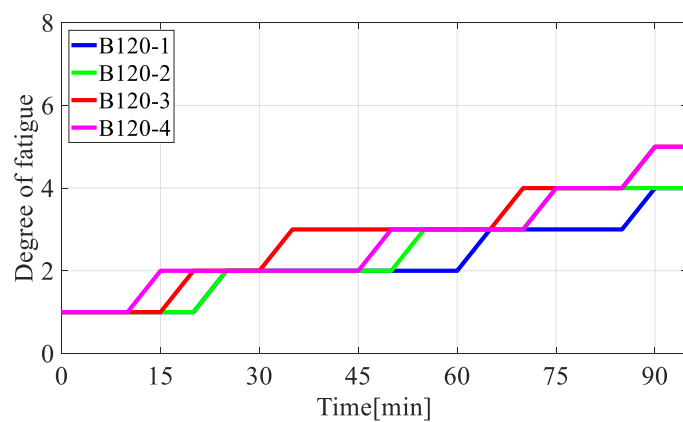


Fig.4.34 Results of Subjective Evaluation of the Back in Pattern 2  
for Participant A

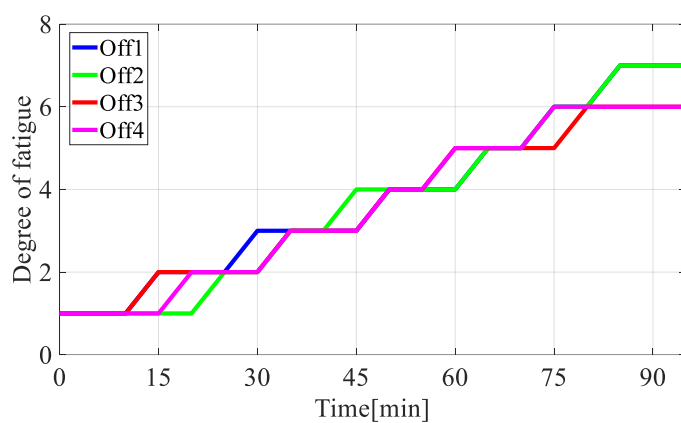


Fig.4.35 Results of Subjective Evaluation of the Lumbar Region in Pattern 1  
for Participant B

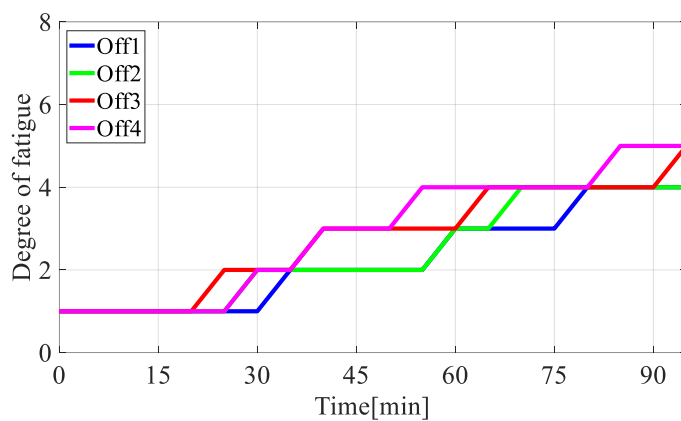


Fig.4.36 Results of Subjective Evaluation of the Buttocks in Pattern 1  
for Participant B

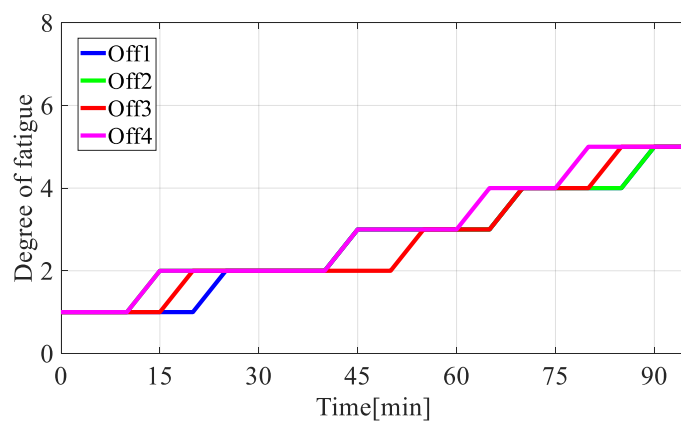


Fig.4.37 Results of Subjective Evaluation of the Back in Pattern 1  
for Participant B



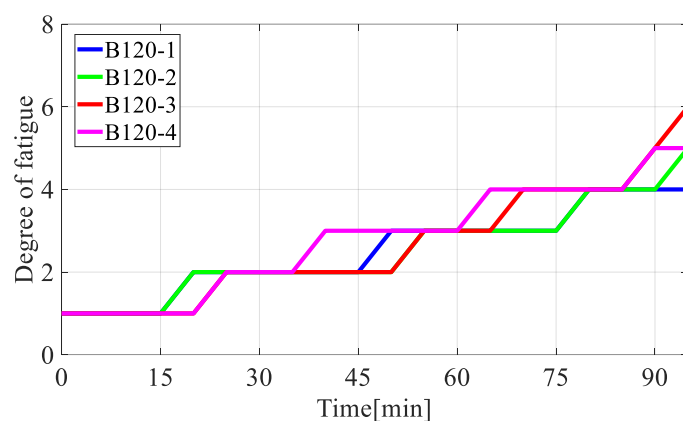


Fig.4.38 Results of Subjective Evaluation of the Lumbar Region in Pattern 2  
for Participant B

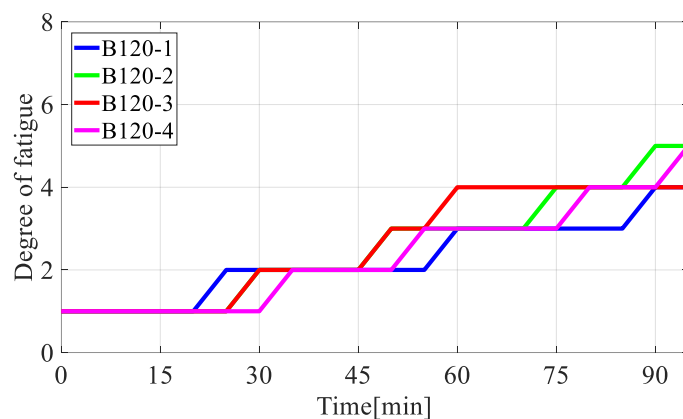


Fig.4.39 Results of Subjective Evaluation of the Buttocks in Pattern 2  
for Participant B

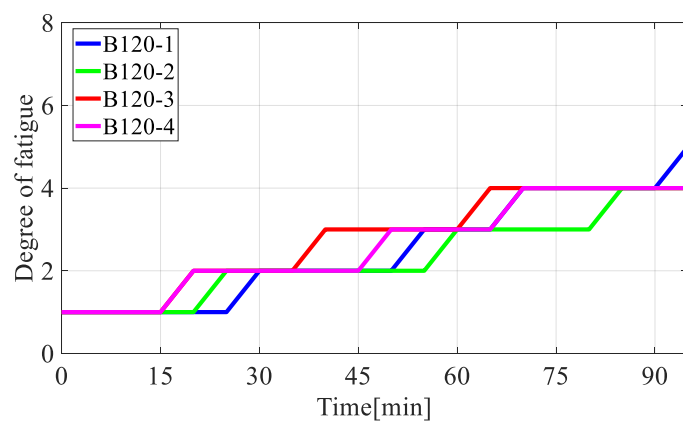


Fig.4.40 Results of Subjective Evaluation of the Back in Pattern 2  
for Participant B

## 4.5 実験結果のまとめ

### 4.5.1 各実験結果の比較結果

本項では、各試行の姿勢挙動の計測結果と疲労評価結果の比較を行う。

まず、実験協力者 A のパターン 1 で、姿勢形状としては Off1 と Off2, Off3 と Off4 が類似している結果が得られ、Off3 と Off4 は腰椎の沈み込みが深いことが確認できていた。そして、疲労評価結果としては、脈波筋疲労評価の結果、Off1 と Off2 の疲労値が低く、Off3 と Off4 の疲労値が高い結果が得られた。そのため、沈み込みが深いほど疲労値が高くなる傾向が見られたと言える。沈み込み量のみを考慮すると、Off1 と Off4 は近いように思えるが、デンドログラムによる類似度評価結果から、形状が似ていないという結果が得られているため、疲労値の推移も異なったのではないかと考えられる。

そのほかの詳細な姿勢挙動の特徴については姿勢形状の類似度も似ていたことから、Off1, Off2 と Off3, Off4 にグループ分けして比較をそれぞれ行う。

まず Off1 と Off2 について、Off2 の計測結果の方が沈み込みが浅いのにもかかわらず疲労値は Off2 の方が高くなった結果について考察すると、Off1 は時間経過と共にシート背面側に平行移動しており、形状の変化が起こっていないのに対し、Off2 は B210 から下の計測位置のみシート背面に近づく変動をしており、Off2 の方が B240 の計測位置での折れ曲がり角が小さくなっていることが確認できる。その結果、疲労値は Off2 より Off1 の方が低くなったのではないかと考えられる。ただし、StO<sub>2</sub> の計測結果については全身の疲労とは異なり、姿勢の時系列的な変化として Off2 の方が 15 分以降で腰部部が Off1 より大きく変動していることから、StO<sub>2</sub> の数値が 15 分以降は Off2 の方が良い数値に差が出ていることが確認できる。この結果については姿勢の変動による血行不良の改善も理由として考えられるが、沈み込みが浅い姿勢が筋負荷の低下につながった結果とも考えられる。また体動回数の結果について、Off1 では 15 分から 45 分の体動回数が多い結果となっているが、0 分から 45 分頃まで B120 を中心に腰部部付近で姿勢変動が起こっているため、これが原因であると考えられる。また、Off2 も 0 分から 60 分にかけて体動回数が順に減少している結果が得られたが、時系列的な姿勢変化を確認すると B120 の計測位置を中心に腰部部が 0 分から 60 分頃まで姿勢変動が起こっており、後の時間ほど変動が小さくなっている変化が見られていた。そのため、これらの特徴が体動回数の変化に表れたと考えられる。これらのことから、体動回数の推移は姿勢変化と相関があると考えられる。主観評価は、Off2 は背中痛みが他の 3 本より強くなって

いるが、胸椎に対して腰椎が大きく変動していたことが背部に痛みを感じた原因と考えられる。

続いて、Off3 と Off4 の比較について、Off4 の方が沈み込みが浅いにも関わらず疲労値が高くなった結果について、Off4 は Off3 や他の試行結果と異なり、30 分ごろまでわずかではあるがシート背面から沈み込む変動が起こっている。Off3 やほかの試行結果のように、もともと沈み込んでいたところからシート背面に近づく変動は改善と考えられるが、シート背面に沈み込む変動は悪化と考えられるため、Off4 は 30 分頃まで疲労値が高くなったと考えられる。30 分以降は Off3 より Off4 の方が沈み込みが浅いため、時間経過と共に Off3 と Off4 の差が小さくなり、最終的には沈み込みが最も深かった Off3 の疲労値が高くなったのではないかと考えられる。また、折れ曲がり角を確認すると、Off4 は実験開始時も実験終了時も、猫背姿勢区間の中で B240 の計測位置だけ飛び出した形状をしており、骨格上不自然な形状となっていたことが確認できるため、これも疲労値に差が出た原因の 1 つであると考えられる。また、時系列的な姿勢変化を全体的に確認すると、Off3 は全ての時間で姿勢変動が大きく、Off4 は変動が少ないという違いがあった。その結果、StO<sub>2</sub> の数値が実験開始後から Off3 の方が良い数値に差が出ていることが確認でき、姿勢変動によって血行不良が改善した効果も考えられるが、姿勢の変動が大きいほうが筋疲労という観点ではよい結果となっている。また、体動回数の推移は、Off3 は 30 分から 75 分のあたりに多い結果が、Off4 は 15 分までに多い結果が得られている。Off3 は姿勢の変動が 95 分間続いていることから、時間経過と共に実験終了の姿勢へと変化した過程で、1 つの姿勢に安定することができず、途中の区間で体が負担を感じ、体動として現れたのではないかと考えている。また、Off4 も B360 の計測位置が 15 分前後で大きく動いていることや、0 分から 15 分までにシートに沈み込む変動が起こっていることが、体動回数増加の原因として考えられることから、姿勢変化の影響が体動回数に表れたと考えられる。

実験協力者 A のパターン 2 の結果について、腰部支持を行っていない時間での姿勢形状としては、B120-1 と B120-2、B120-3 と B120-4 が類似している結果が得られ、B120-3 と B120-4 の沈み込みが深い結果が確認できていた。脈波筋疲労曲線の結果も B120-1 と B120-2 が低く、B120-3 と B120-4 が高いという結果で腰部支持を行っていない姿勢の分類と一致した。そのため、この結果についても、沈み込みが深いデータほど疲労値が高くなると言える。また、腰部支持を行うことで、どの試行結果についても腰椎が押し出され、平均沈み込み量が浅く変化したほか、腰部支持を行う前の時間より体動回数

が減少する傾向が確認できた。平均沈み込み量が浅い姿勢は負担が少ないと考えられるほか、パターン1などの結果でも、体が負担を感じる姿勢形状へと推移した際に体動回数が増加していたことから、腰部支持によって体の負担を軽減できた結果と考えられる。

そのほかの細かい姿勢挙動の特徴については、姿勢の分類が似ていたことから、B120-1、B120-2とB120-3、B120-4にグループ分けをして比較を行う。

B120-1とB120-2の結果は、腰部支持を行っていない時間での姿勢変化はどちらも似ている結果が得られているが、腰部支持によって押し出しされた際の変化は差があった。B120-2は腰部支持による変化量が少なかったことから  $StO_2$  の数値が B120-1 よりも低い位置で推移しているのではないかと考えられる。また、どちらの結果についても、腰部支持を行っている時間では  $StO_2$  の値が上昇していることが確認できた。続いて、体動回数の推移は、B120-2 については1回目と2回目の押し出しについて、押し出し後の体動回数が減少する結果が得られている。ただし、体動回数の推移については、各時間に起こっている体動が非常に少なく、十分に傾向がつかめない結果となっている。主観評価では、B120-1の試行結果について背部の痛みが他の3本より高い結果となっているが、B120-1は姿勢変化がB240より下の計測位置で起こっており、パターン1の姿勢などを考慮すると通常よりも高い位置の骨から変動が起こっていることがわかる。そのため、背中の感覚が他と異なり、疲労感につながったのではないかと考えられる。

B120-3とB120-4の結果について、B120-4が沈み込みが浅いのに対し、疲労評価が高くなった結果については、姿勢形状の推移が関係していると考えられる。B120-4の実験開始時の姿勢形状は、B210の計測位置での折れ曲がり角が大きく、B210より上の計測位置での折れ曲がり角が小さくなっており、胸椎下部が直線的で負担のかかる姿勢形状をしていたが、実験終了にかけて改善していく傾向が見られていた。そのため、B120-4は実験開始後すぐに疲労値が上昇し、徐々に姿勢形状の改善と共にB120-3の疲労値に近づいたのではないかと考えられる。また、どちらも95分通して姿勢の変動が多い結果となっているが、B120-3は胸椎から腰椎の全体的に姿勢の変動が大きいのに対し、B120-4は腰椎と胸椎で変動の仕方が異なる結果が得られていた。B120-3は実験開始時の姿勢がシートから沈み込んでおり、その結果  $StO_2$  の数値が低くなったのではないかと考えられる。対してB120-4は30分以降の姿勢形状は負担のS字形状になっており、負担が少ない姿勢だと推察でき、 $StO_2$  の数値がその区間は高いことも確認できる。また、どちらの結果についても、腰部支持を行っている時間では  $StO_2$  の値が上昇していることが確認できた。また、体動回数については、B120-3は時間経過と共に胸椎下部から腰

椎部が直線的な形状へと変化する傾向が見られていた。その結果、体動回数も時間経過と共に減少する結果が得られている。また、75分以降の体動回数は0回なため、判別ができないが、1回目の腰部支持では体動回数が減少する結果が得られている。

実験協力者 A の結果について、どちらのパターンについても姿勢形状と脈波筋疲労曲線の分類が一致し、シートへの沈み込みが深いデータが疲労値の高い結果となっていた。また、個別に姿勢変化を確認すると、姿勢変化が頻繁に起こっている時間や、沈み込みが深い時間や、背部に負担のかかる姿勢形状をしている時間などに疲労値が高くなり、体動回数も多くなっている結果が確認できた。また、パターン2の体動回数について平均値で評価を行うと、腰部支持を行っている時間では減少している結果が得られており、腰部支持により腰椎がシート背面側に押し出される姿勢変化が確認できることから、腰部支持を行うことにより体動回数が減少したと言える。

実験協力者 B の結果について、パターン1の姿勢形状は、Off3、Off1、Off2、Off4の順に沈み込みが深く、脈波筋疲労曲線の結果は、Off1とOff3が疲労値の高い結果となっており、沈み込みが深いデータほど疲労値が高い結果が得られたと考えられる。また、姿勢形状の類似度の評価では、Off1とOff2が類似している結果が得られており、脈波筋疲労曲線の形状も75分頃まで類似している結果が確認できた。しかし、Off4は姿勢の沈み込みが浅いのにも関わらず、ほかの疲労値と近い結果が得られている。その理由としては、Off4は時間経過と共にB210のみ変動が小さく、時間経過と共にB210シート背面側に飛び出した形状となり、負担のかかる姿勢形状へと変化している。そのため、ほかの試行結果よりも浅い姿勢変化をしているが、他と疲労値が同程度になったのではないかと考えられる。以上のことから、着座姿勢が深い姿勢ほど疲労値が高い傾向が得られ、沈み込み量が浅かったとしても、姿勢形状が負荷のかかる形状だった際には疲労値が高くなる結果が確認できた。

より詳細に結果を分析すると、Off1とOff4の姿勢変化の結果としては、姿勢変化が45分以降も起こっており、時間を追うごとに沈み込む変動をしていることがわかる。それに対してOff2は45分以降の姿勢変化が少ないことがわかる。Off1とOff2は姿勢の変化の推移の違いから疲労値に差が生まれたと考えられる。また、Off2は他の試行結果と比較しても背面のS字形状が明確に確認することができ、負担が少ないことから全



身の疲労値が下がったと考えられる。また、体動回数も Off2 は平均より低い回数となっている。ただし、StO<sub>2</sub>の変化に着目すると、15分から30分の間に低い数値となっていることが確認できる。この原因としては、15分から30分の間は腰椎部の姿勢変化が他の3本よりも大きく、実験協力者Bは沈み込む変動が起こっているため、StO<sub>2</sub>の数値が低くなったのではないかと考えられる。体動回数も30分で姿勢が変動した直後から一時的に多くなっていることが確認できる。それに対しOff4は、B210の計測位置のみシート背面に近づく変動をしているため、猫背姿勢の区間で局所的に飛び出すような骨格上不自然な方向に曲がる推移をしており、時間経過とともに負荷のかかる姿勢となっていた。その結果、疲労評価結果も45分ごろから上昇し、体動回数も45分以降で多くなっている結果が得られた。その他の試行結果の体動回数について、Off1は95分通して沈み込む結果が得られていたことから、どの区間も平均的に体動が起こっている。また、Off3は実験開始時からB270の計測位置がシートから深く沈み込んだ位置で推移していた状態だったのに対し、15分以降でより深く沈み込む変動をしているため、15分以降から体動回数が多くなっていることが確認できる。

実験協力者Bのパターン2の結果は、実験開始時はB120-1、B120-4、B120-2、B120-3の順に沈み込みが深い姿勢となっていたが、実験終了時にはB120-1、B120-2、B120-3、B120-4の順に沈み込みが深い結果が得られた。また、疲労評価結果は、4本とも最終値に近い結果となっていたが、B120-1とB120-4が最も低く、B120-2とB120-3が疲労値が高い結果となっていた。これらのことから、B120-2とB120-3とB120-4では実験終了時の沈み込みの深さの順番と疲労値の高さの順番が一致しているため、深い姿勢ほど疲労値が高い結果となっていると考えられる。ただし、B120-2、B120-3、B120-4は全て、B210の計測位置のみ浅い変位となっており、猫背姿勢区間であると考えられるため、この局所的に飛び出す姿勢形状は負荷がかかると考えられる。対してB120-1は急な角度変化も無く、S字形状が明確に見られるため、B120-1は沈み込みが深いがほかの試行結果と同様の疲労値になったと考えられる。また、腰部支持によって平均沈み込み量が浅く推移したほか、体動回数も減少する結果が得られた。これらのことから、腰部支持により負担が軽減され、体動回数も減少したと考えられる。

より細かく詳細に比較を行うと、B120-1の変化は時間経過とともに沈み込んでいる変動をしている。それに対してB120-2とB120-3は30分以降の姿勢変動が少ないため、変化としてはB120-2とB120-3は類似していると考えられる。また、B180の計測位置が局所的に変動しており、背面に負荷のかかる姿勢形状へと変化している点も共通点と

して挙げられる。StO<sub>2</sub>の数値は、B120-3は姿勢的に負荷のかかる方向へと推移しているため、数値が低い結果を示している点で一致するが、B120-2はStO<sub>2</sub>の数値が高い結果となっている。これはB120-2が腰部支持装置による変化が大きいことで疲労低減効果が強く得られた結果だと推察される。また、体動回数の推移について、B120-1は時間経過と共に沈み込んでいく傾向があるため、すべての時間において体動回数が多い結果が得られている。また、腰部支持による体動回数の減少は3回とも確認できる。B120-2は腰部支持も大きく、後半ほど疲労の蓄積しやすい姿勢へと推移しているのにもかかわらず、体動回数は腰部押し出しによって減少する結果が得られていないほか、後半ほど多い結果も見られなかった。B120-3は、1回目の腰部支持のみ体動回数が減少する結果が得られている。また、後半ほど疲労の蓄積しやすい姿勢へと変化していることについては、90分以降の体動回数が他と違って5分間と短い時間に対して2回も体動が起こっていることから、後半ほど体動回数が増えていると言える結果だと考えている。B120-4はシートに対して浅い変位で推移しており、沈み込む変動も小さいことから、疲労値が低い結果となっている。また、90分以降にB270の計測位置のみ浅い位置に局所的に変化したことで、背面形状が全体的に直線的になり、背面に負荷のかかる姿勢へと変化した。その結果StO<sub>2</sub>の数値が90分以降のみ高い結果となっており、体動回数も90分以降は5分間とほかの区間より短い時間にもかかわらず体動回数が2回と多くなっている。

実験協力者Bの結果から、どちらのパターンについても姿勢形状の特徴と脈波筋疲労曲線の結果に相関がみられ、沈み込みが深いデータほど疲労が高くなる傾向が見られた。しかし、Off4のように沈み込みが浅いにも関わらず疲労値が高いデータも得られたが、姿勢変化を確認すると負荷のかかる姿勢へと推移していることが確認できた。また、姿勢的に負荷のかかる姿勢形状の時に体動が多くなる傾向も確認できた。また、パターン2でも沈み込みが深い姿勢が疲労値が高くなる傾向が見られたほか、腰部支持を行うことで姿勢形状が腰椎を中心にシート背面側へと押し出され、負荷の少ないS字形状へと変化するほか、体動回数の平均値も腰部支持を行っている時間帯には体動が減少する結果が得られた。

#### 4.5.2 実験結果のまとめと考察

2 人の実験協力者の結果から、姿勢形状や姿勢変化の推移が疲労評価結果と関係していることが確認でき、沈み込みが深い姿勢ほど疲労が高くなる傾向が見られた。また、沈み込みが浅いにもかかわらず疲労値が高い試行結果は、姿勢形状が負荷のかかる形状へと推移していることが確認できた。また、負荷のかかる姿勢をしている時には体動回数が増加することも確認できた。また、腰部支持を行うことで負荷の少ない姿勢へと変化した際には体動回数も減少する傾向が見られた。

これらの結果から考察できることとして、背面がシートへ深く沈み込んでいる試行結果で疲労が高くなった原因としては2つ考えられ、1つは圧迫されることで血行不良を原因とした疲労を引き起こした可能性が考えられる。またもう1つは、本研究で得られた沈み込みの深い姿勢は腰椎部や胸椎下部の沈み込みが深く、垂直に近い姿勢になっていた。シート着座時には自身の上半身の自重をシート背面と自身の筋肉によって支えているが、垂直に近い姿勢だとシート背面よりも背面の筋肉での支える力が増大する。その結果、本試行結果では垂直に近い姿勢形状では疲労が高くなったと考えられる。また、骨格的に不自然に曲がっている姿勢については、自然な姿勢形状ではない分、自身の体は負担を感じ、自然な方向に戻そうと筋肉を使おうとしているのではないかと考えられる。これらの姿勢のように、負荷のかかる姿勢へと変化した際には、体動回数が増加した結果が得られたことで、体が負担を感じた際には、体動という姿勢挙動によって現れると考えられる。また、疲労評価結果が増加していたことから、疲労値と姿勢形状は深く関係していると考えられる。

体動評価について、湯田らの研究<sup>[3]</sup>では、運転実験の後半の疲れがたまってくる時間帯に体動回数が増加していた結果と、若年者より高齢者の方が体動回数の増加傾向がはっきりとみられる結果が得られていた。本研究では特に実験協力者 A の体動回数を 95 分間の総数で評価を行うと、疲労値の高かった試行結果の体動回数が少ない結果となっていた。このよう結果に差が出た原因として考えられることは、1つは本研究での実験協力者はどちらも 20 代と若いため体動の増加傾向がはっきりと出にくかったことが挙げられる。そのためには、年齢層の違う方に実験に協力者してもらうことでより詳細に解明できるのではないかと考えられる。2つ目に、人間が疲労を感じた時に無意識に体動が発生することからも、疲労値を減少させる効果があると推察できる。そのように考えると、疲労値の高かったデータは体動を起こそうとしていたが、沈み込みによる圧迫や、骨格上無理のある姿勢によって体動が起こせず疲労値が増大してしまった可能性も



ある．これらの原因の解明は本研究で考案した体動評価手法より，さらに精度の良い評価手法が必要となるため，今後の課題として考えている．

---

# 第5章

## 結論

---

### 5.1 まとめ

本研究は、運転中の疲労を軽減するため、姿勢挙動が着座疲労にどのような影響を与えているか検証することを目的とし、姿勢計測装置や加速度計によって姿勢挙動を評価する手法を提案し、疲労評価との比較を行うため長時間運転実験を実施した。姿勢計測装置による計測結果からは、姿勢形状や時系列的な姿勢変化の評価手法を用いて姿勢状態を評価した。また、加速度センサーを用いた体動評価手法を提案し、姿勢挙動の評価に役立てた。これらを用いて姿勢挙動を計測するとともに、生体情報による客観的疲労評価やアンケートによる主観的疲労評価を行い、長時間運転中の姿勢挙動と着座疲労の比較を行った。

その結果、試行結果毎に胸椎下部や腰椎上部のシートへの沈み込み量に差が見られ、沈み込みが深いデータほど疲労が高い結果が多く得られた。しかし、沈み込み量が浅く疲労が高い試行結果も少数だが得られた。これらの着座姿勢形状を詳細に確認したところ、胸椎下部や腰椎上部の変位が局所的に異なっており、人間の骨格的に不自然な方向に曲がっていることが判明した。また、時間ごとの体動回数の推移は姿勢の時系列的な変化と対応しており、腰椎部の沈み込みが大きく腰部に負担のかかる姿勢形状や、骨格的に不自然な方向に曲がる姿勢形状へと推移した際には、体動回数が増加する結果が得られた。また、パターン2では腰椎を押し出したことで背面形状が負荷の少ないS字形状へと変化し、体動回数も減少する結果が得られた。これらの結果から、同一条件においても姿勢挙動を要因として着座疲労に差異が生じることが確認できた。

## 5.2 今後の課題

本研究では、長時間運転実験において運転疲労評価と姿勢挙動計測を併せて行い、計測結果を比較することで姿勢挙動と着座姿勢の関係性の検証を行ったが、実験協力者が20代の男性二名であるため、今後はもっと幅広い年齢層の実験協力者を増やし、さらなる有効性検証が必要である。また、長時間運転実験も各パターン4本ずつと実験本数が少ないため、妥当性向上のため、さらに実験を実施する必要がある。また、本研究で用いてきた姿勢計測装置だが、今回の実験協力者では最も下の計測位置でも腰椎の中央の位置に相当しており、背面のS字形状を計測するためにもより下の部分を計測する必要がある。自身もカメラなどを用いて計測を試みたが、うまく計測できなかったため、ほかの手法を検討する必要がある。また、提案した体動評価手法は現状まだ精度が良いものとは言えないため、より良い精度で計測できる手法を考案する必要があると考えている。本研究では加速度の計測結果のみで評価を行っていたが、角速度の計測も行うことで、ひねる動きだった場合の角度等を推定できるため、体動評価の精度向上のために検討する必要がある。また、より良いノイズの処理方法を検討することも体動評価の精度向上につながるため、検討が必要である。これらのことを検討し精度向上を目指すと同時に、まずは腰部支持なしの条件で実験回数を重ね、どのような動きを体動とするのか定義し、評価手法の妥当性を検討することで、より良い体動の評価手法を確立させられると考えている。

---

## 参考文献

---

- [1] 内閣府 令和4年度交通事故の状況及び交通安全施策の現況 より抜粋  
[https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r05kou\\_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1\\_2.html](https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r05kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html)
- [2] 田久保宣晃：「交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察」，国際交通安全学会誌，Vol.30，No.3，pp.23-32，2005
- [3] 十市祥教，高田一，松浦慶総：「長時間運転時における疲労評価に関する研究」，日本機械学会関東支部第10期総会講演会講演論文集，pp.499-500，2004
- [4] 西浦武史，佐々木篤樹，藤田悦則：「姿勢変動による疲労の進行緩和に関する一考察」，トヨタ紡織技報，pp.21-28，2007
- [5] 三野弘幸，土居俊一：「シート特性を考慮した自動車運転時のドライバ状態推定」，交通・物流部門大会講演論文集，pp.291-294，2009
- [6] 古郡了，三浦泰彦，吉澤公理，稲目力：「座圧変化に基づくドライバの疲労推定」，マツダ技報，No.22，pp.161-166，2004
- [7] 落合直輝，藤田悦則，小倉由美，村田幸治，亀井勉，上野義雪，金子成彦：「骨盤・腰部支持による疲労軽減効果」，日本人間工学会大会講演集，第41巻特別号，pp.300-301，2005
- [8] 内川 竜一，小島 重行，小倉 由美，藤田 悦則，金子 成彦：「振動乗り心地の整理指標を用いた定量化」，Dynamics & Design Conference 2011(0)，618-1 - 618-10，2011
- [9] 縄弥生：「自動車ドライバの着座疲労に関する研究」，横浜国立大学大学院機械システム工学コース学位論文集，Vol.8，2010
- [10] 岩田洋一，林裕介，森田良文，鵜飼裕之，横山清子，藤巻吾朗，安藤敏弘，白鳥彰男，棚瀬光隆：「振動シート着座における腰部の疲労軽減効果の検証」，東海支部総会講演会講演論文集，pp.161-162，2009
- [11] 平山健太，太田誠，伊藤智，吉川賢一，桜井篤実：「脊柱アライメントと自動車シート着座時の疲労感との関係調査」，日本人間工学会講演論文集，54巻，supplement号，p.2H4-2，2018
- [12] 石渡茂樹，吉澤公理，平尾章成，江上真弘：「体幹部支持を考慮した疲労低減シートの開発」，自動車技術会論文集，Vol.44，No.2，pp.647-652，2013

- [13] 平尾章成, 加藤和人, 北崎智之, 山崎信寿:「多面的評価に基づく肉体疲労低減運転姿勢の提案」, バイオメカニズム, 19 巻, pp125-136, 2008
- [14] 平尾章成, 加藤和人, 北崎智之, 山崎信寿:「長時間運転時の肉体疲労の定性および定量的評価」, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.4, pp153-158, 2008
- [15] 江崎翔, 大日方五郎, 徳田暁, 森紀人, 牧口実:「生体指標を主成分分析することによりドライバの疲労状態を推定する研究」, 自動制御連合講演会講演論文集, pp208-211, 2011
- [16] 片桐友美, 岡田明, 山下久仁子:「姿勢変化による着座時の身体負担軽減に関する研究」, 日本人間工学会大 53 回大会講演集, P-31, 2012
- [17] 佐藤稔久, 河原純一郎, 熊田孝恒, 赤松幹之:「長時間運転での疲労蓄積への影響要因の分析とドライバーの疲労タイプの分類」, 自動車技術会論文集, 44 巻, 6 号, pp1451-1458, 2013
- [18] 横山清子, 松河剛司, 夫馬司貴, 砂田治弥, 平松あい:「自動車シート着座時の生体信号と姿勢の経時変化の解析」, 人間工学, 第 51 巻, 特別号, pp136-137, 2015
- [19] 小山秀紀, 本田啓太, 関口雄介, 石川薄明, 村木孝行, 太田誠, 平山健太, 伊藤智, 桜井篤実, 吉川賢一:「自動車シートの背もたれ下部の支持が脊柱アライメントと身体負担に及ぼす影響」, 人間工学, 53 巻, 5 号, pp157-166, 2017
- [20] 林亮輔, 川上洋平, 菅谷みどり:「運転時の漫然状態推定における生体計測手法」, 情報処理学会研究報告, Vol.2019-UBI-62, No.4, pp1-10, 2019
- [21] 清水祐樹, 河内恭司, 柿崎勝:「温冷交代浴効果を利用したドライバ肉体疲労低減手法の開発」, 自動車技術会論文集, Vol.52, No.3, pp595-600, 2021
- [22] 安藤雅人:「ドライバの運転姿勢に着目した疲労評価に関する研究」, 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2011 年度修士論文
- [23] 後藤翔平:「ランバーサポートによるドライバの運転姿勢変化に基づく運転疲労増加低減に関する研究」, 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2013 年度修士論文
- [24] 津田修平:「ランバーサポートによるドライバの腰部姿勢変化と運転疲労との関係性に関する研究」, 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2014 年度修士論文
- [25] 伊藤宏太, 早川聡一郎, 後藤翔平, 津田修平, 池浦良淳, 早川知範:「ランバーサポートを用いた運転姿勢変化に着目した運転時の疲労増加の低減手法」, 電気学会論文誌 C, (電子・情報・システム部門誌), Vol.135, No.5, pp.513-519, 2015

- [26] 山田純：「血中乳酸値増加量に基づく長時間運転時における着座筋疲労評価の有効性に関する研究」，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2016 年修士論文
- [27] 小村到：「複数背面支持部を有する運転シートによる疲労増加低減効果に関する研究」，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2017 年修士論文
- [28] 戸田雄也：「長時間運転における背面支持位置毎のドライバの疲労増加低減効果の検証」，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2018 年修士論文
- [29] 小村至：「臀部補助機構を備えたエアセル型腰部支援装置によるドライバの腰部姿勢変化と運転疲労の関係性に関する研究」，三重大学工学部機械工学科 2015 年学士学位論文
- [30] 山本文哉：「背面支持機構の上下位置に対する疲労増加低減効果と姿勢変化の関係に関する研究」，三重大学工学部機械工学科 2018 年学士学位論文
- [31] 山本幸史郎：「背面位置計測装置を用いたドライバの腰部姿勢と着座疲労の関係性検証」，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2020 年修士論文
- [32] 内山一成：「姿勢計測と筋電位計測によるドライバ腰部姿勢と着座疲労の関係性検証」，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2021 年修士論文
- [33] 山川拓巳：「生体情報を用いた着座筋疲労評価に基づく長時間運転における腰部支持装置の疲労低減効果に関する研究」，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2021 年博士論文
- [34] 位田陸：「組織酸素飽和度によるドライバの長時間着座時の腰部筋計測に関する研究」，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2022 年博士論文
- [35] Yutaka Yoshida, Emi Yuda: 「Estimation of Driver Fatigue by Assessing Seated Postural Fluctuation using XZ dispersion diagram」，2023 年秋季大会学術講演会講演予稿集，講演番号, 205, 文献番号.20235205, 2023
- [36] 藤田悦則，小倉由美，落合直輝，安田栄一，土居俊一，村田幸治，亀井勉，上野義雪，金子成彦：「指尖容積脈波情報を用いた長時間着座疲労の簡易評価法の開発」，人間工学学会，Vol.40, No.5, pp.254-263, 2004
- [37] 落合直樹，藤田悦則，小倉由美，村田幸治，亀井勉，金子成彦：「指尖容積脈波のゆらぎを用いた疲労度評価法の開発」，自動車技術会学術前刷集，No.11-05, pp.15-18, 2005

---

# 謝辞

---

本研究を進めるにあたり、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 池浦良淳教授には研究に関する有益なご助言を頂き、深く感謝致します。厚く御礼申し上げます。

また、大変お忙しい中、本論文を査読して頂くと共に、多数のご教示、ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 矢野賢一教授に厚く御礼申し上げます。

また、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 早川聡一郎准教授には終始多大なる御指導、御鞭撻を親身になって行って頂き、深く感謝致し、厚く御礼申し上げます。

そして、実験装置の製作にあたり、親身な御協力、御尽力、アドバイスをくださった吉田俊一技官に厚く御礼申し上げます。

本研究にあたり、お忙しい中、実験に協力していただいた、田畑和晃氏、榊谷優斗氏に深く感謝しております。厚く御礼申し上げます。

また、同じ自動車関係の研究を行った同期である後藤倫太郎氏、谷口泰誠氏、西村晟央氏、菱川直輝氏には本研究を行う上で様々な提案、意見交流をし、共に良い刺激となつて研究を行うことができました。厚く御礼申し上げます。

また、研究室での生活を楽しく豊かにして頂いた、修士 1 年生と 4 年生の皆様に感謝し、今後のご活躍を期待しております。

そして、研究室生活を忘れるこの出来ない充実したものにして頂いた内田雄大氏、鈴木理央氏、森井省吾氏、三岩功季氏には心より感謝の意を表します。

なお、株式会社 TACHI-S 山川拓巳様には浅学な私に対し多数のご教示、ご助言を賜り、心より御礼申し上げます。本稿作成は、株式会社 TACHI-S からの情報提供や御助言があったことにより可能となりました。ここに、深甚なる謝意を表します。

最後に、大学院在籍中、惜しめない援助を送ってくださった家族のお陰で充実した素晴らしい勉強・研究生活を送ることができました。感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。

---

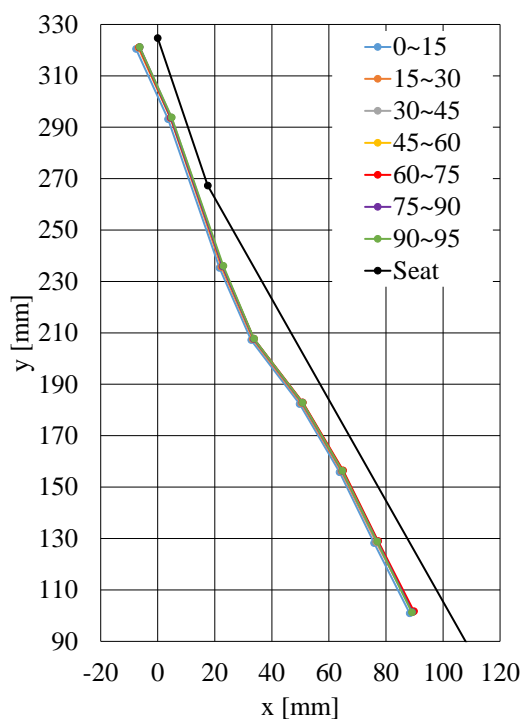
# 付録

---

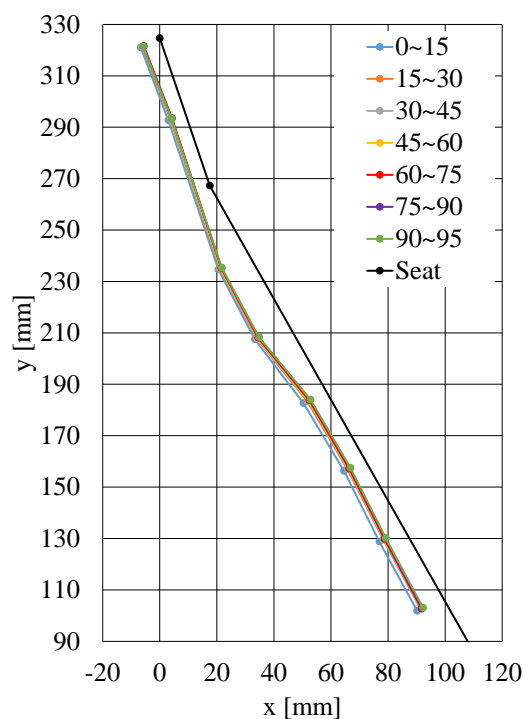
付録として，本研究で長時間運転実験にて蓄積したデータについて掲載する．

Sample1 から Sample8 には，姿勢計測装置で計測した姿勢形状のうち，15 分毎に平均した結果を，実験協力者毎に示す．Sample9 から Sample12 には，NIRS 機器によって計測した  $\text{StO}_2$  の測定値を示す．その際，掲載するデータは 5 分間のうつ伏せ時間と実験準備 1 分間の合計 6 分間の計測結果も含めた実験結果を示す．Sample13 から Sample16 は NIRS 機器で体動評価を行った際の合成ベクトルの計算結果を示す．Sample17 から Sample20 には，脈波筋疲労曲線の結果を数値で示した表を示す．

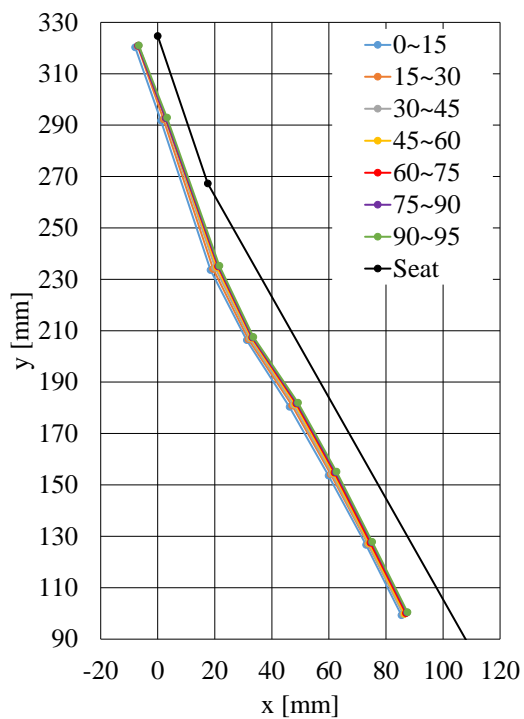




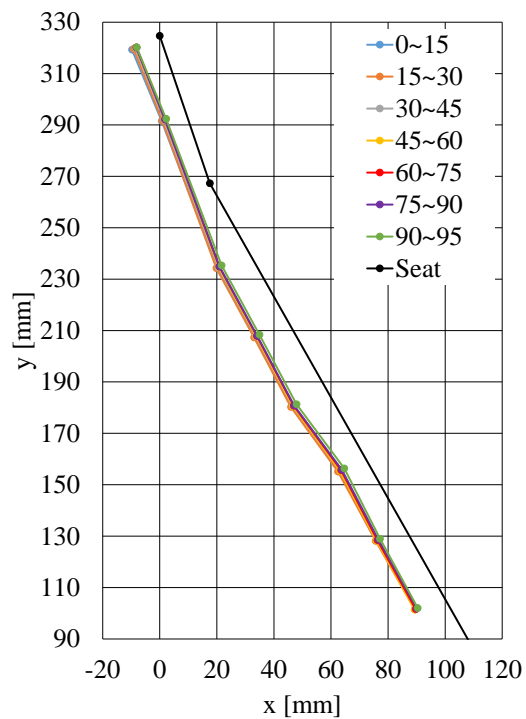
Off1



Off2

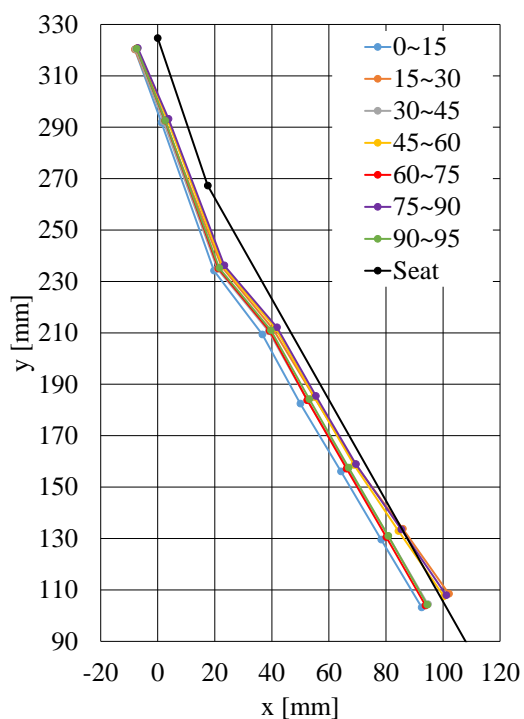


Off3

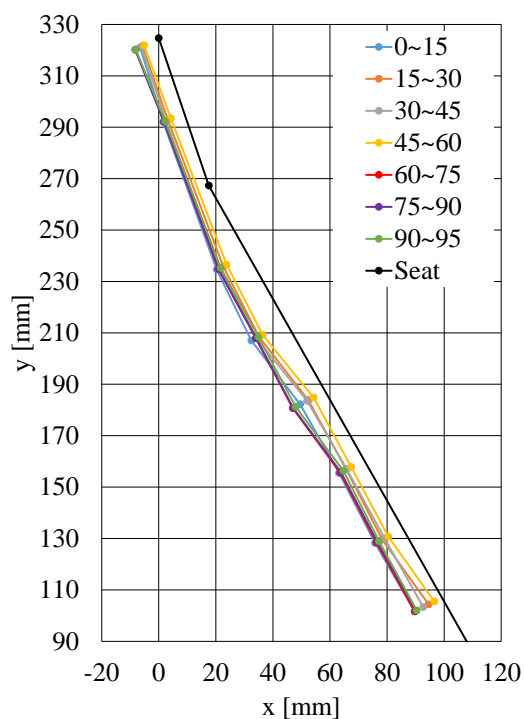


Off4

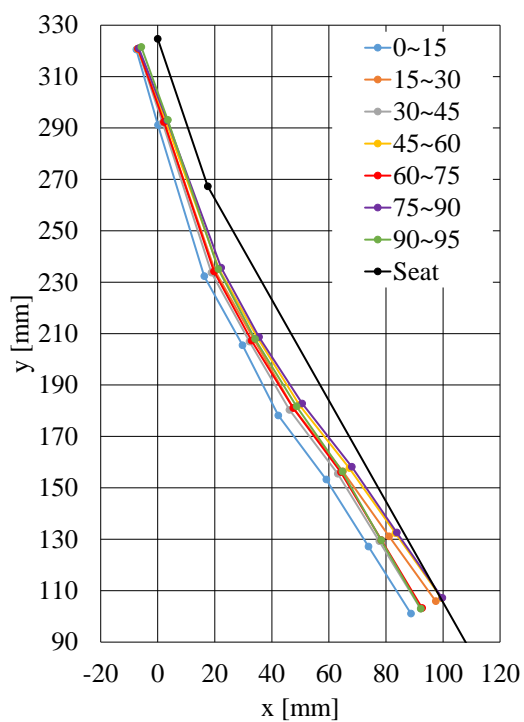
Sample 1 Posture Shape of Pattern 1 for Participant A



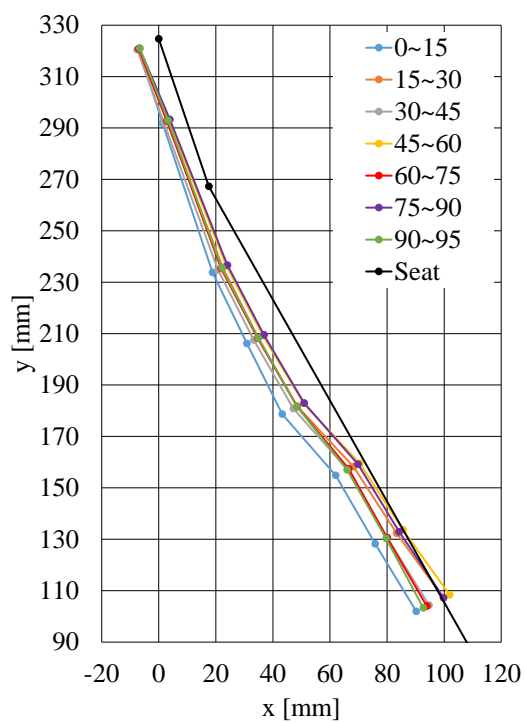
B120-1



B120-2

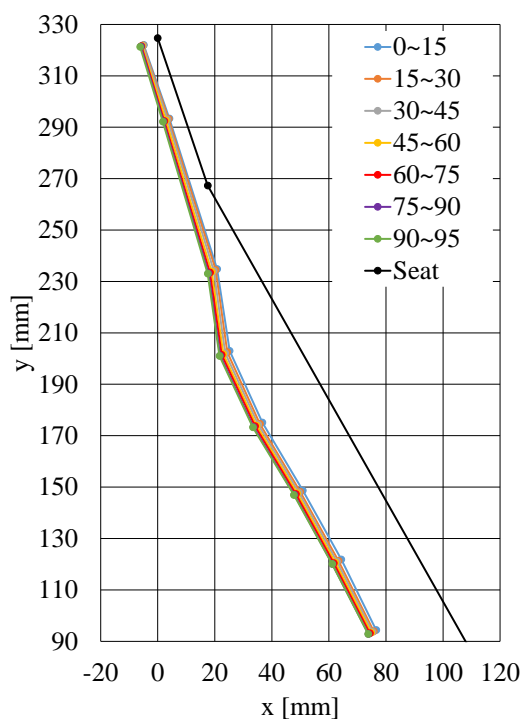


B120-3

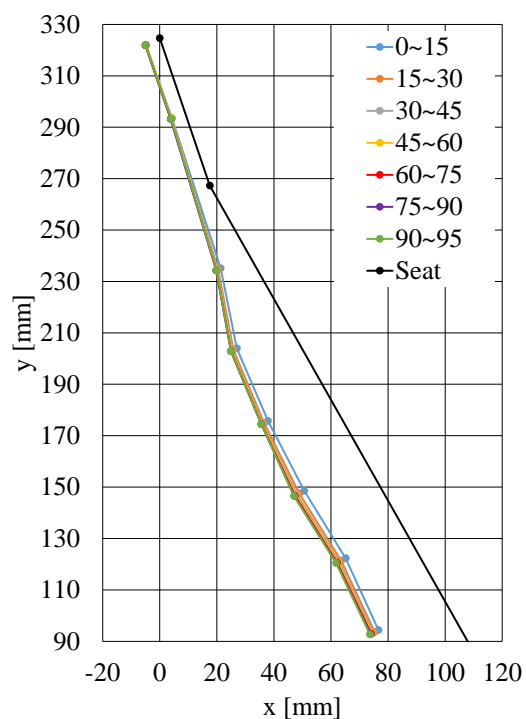


B120-4

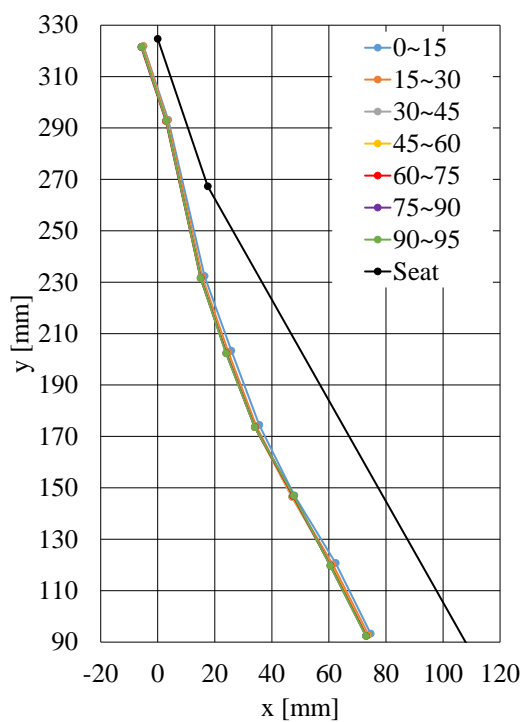
Sample 2 Posture Shape of Pattern 2 for Participant A



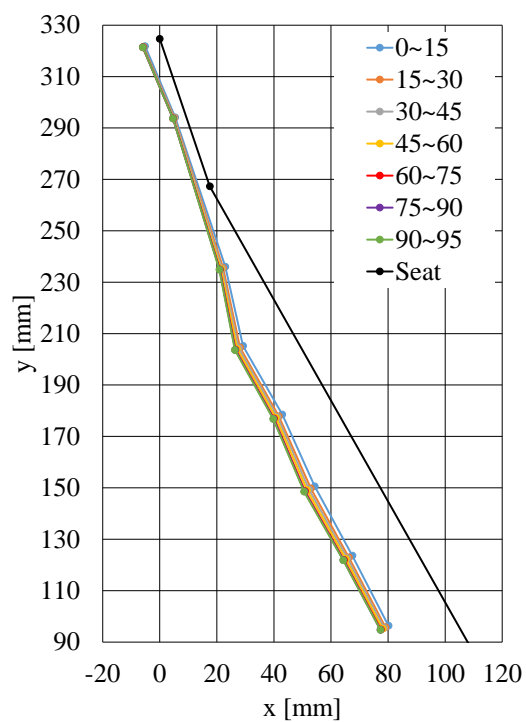
Off1



Off2

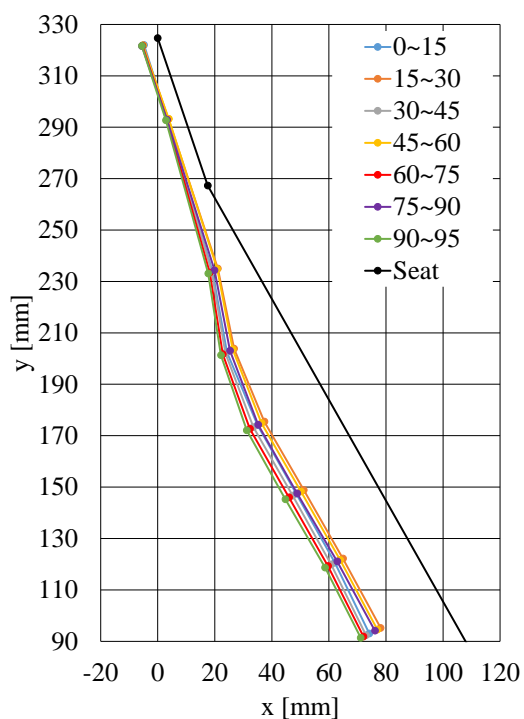


Off3

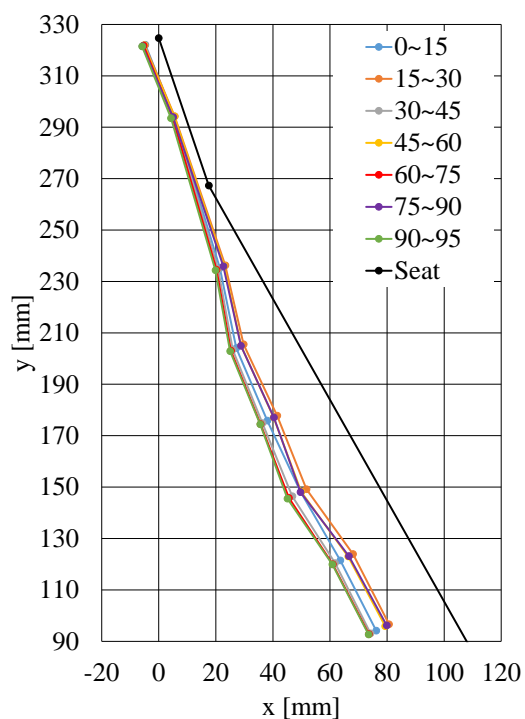


Off4

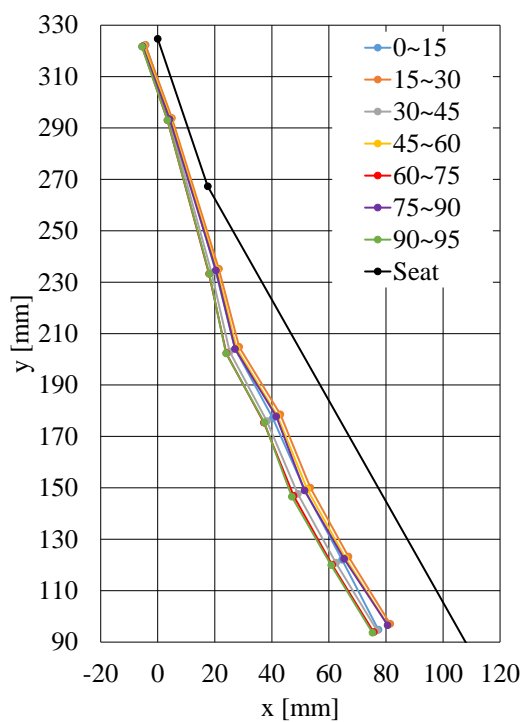
Sample 3 Posture Shape of Pattern 1 for Participant B



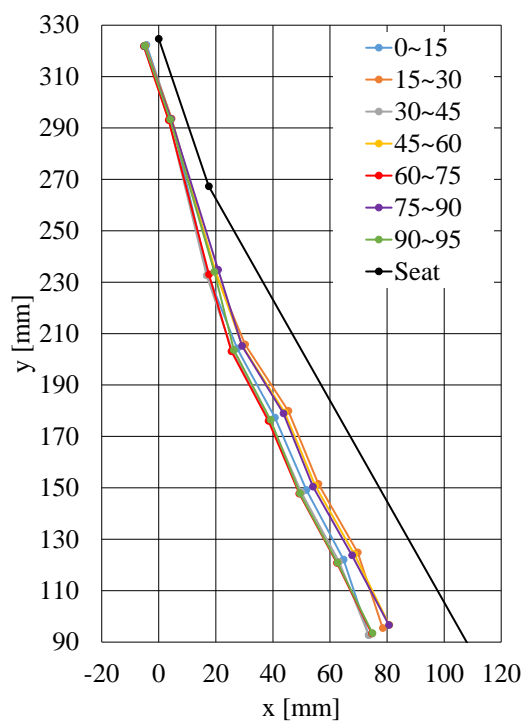
B120-1



B120-2

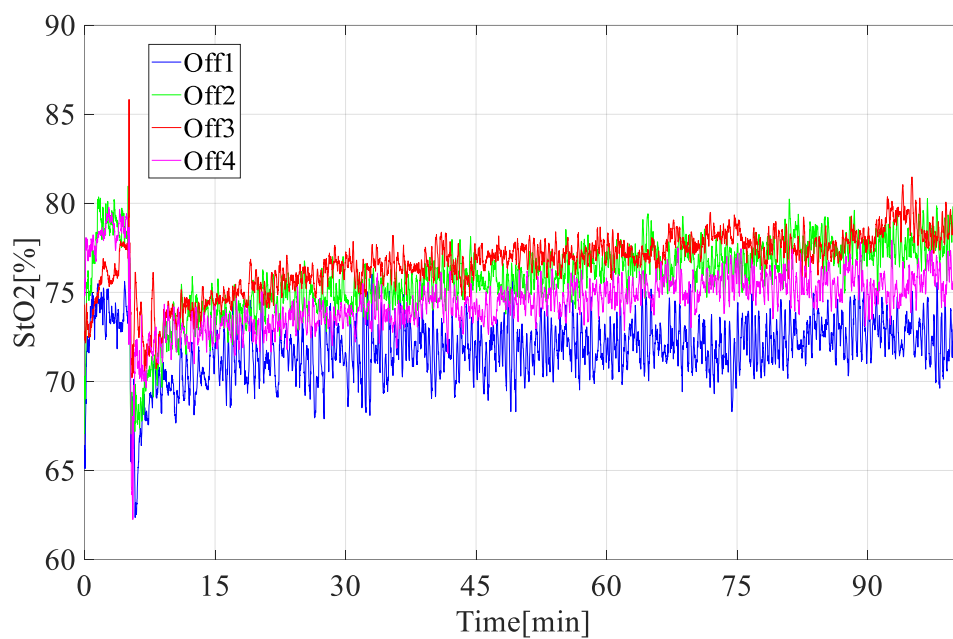
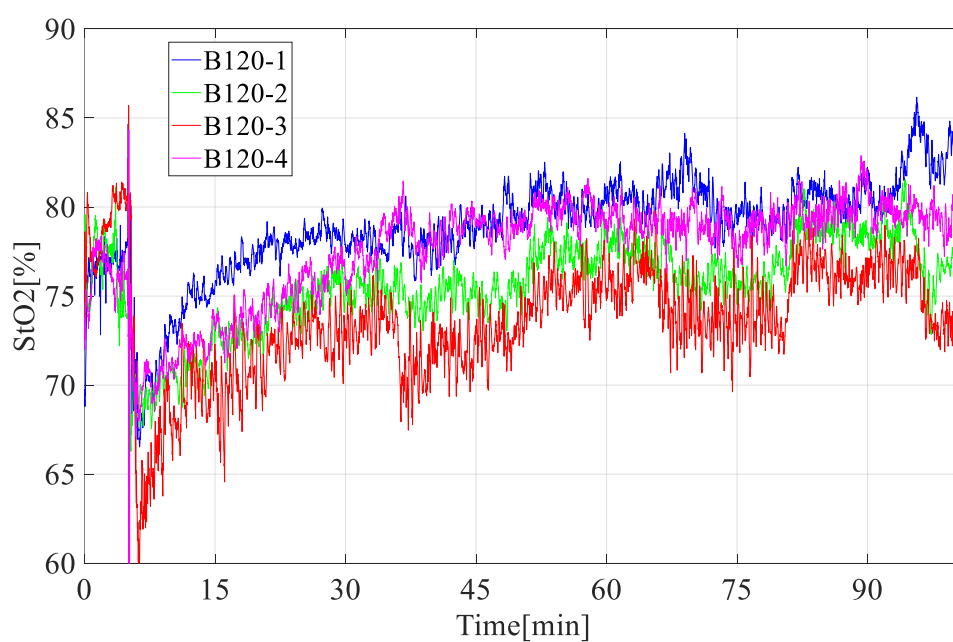


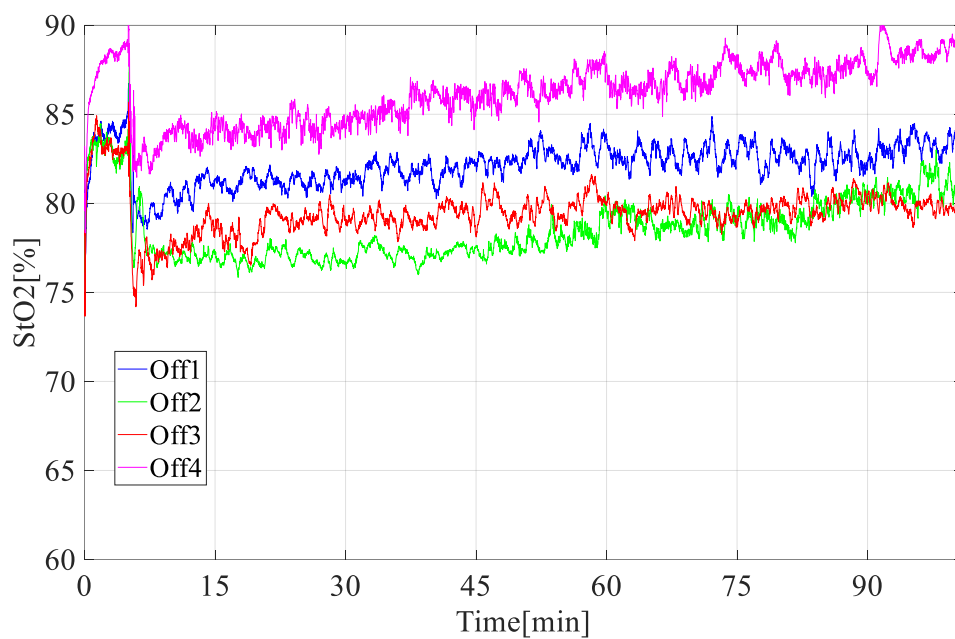
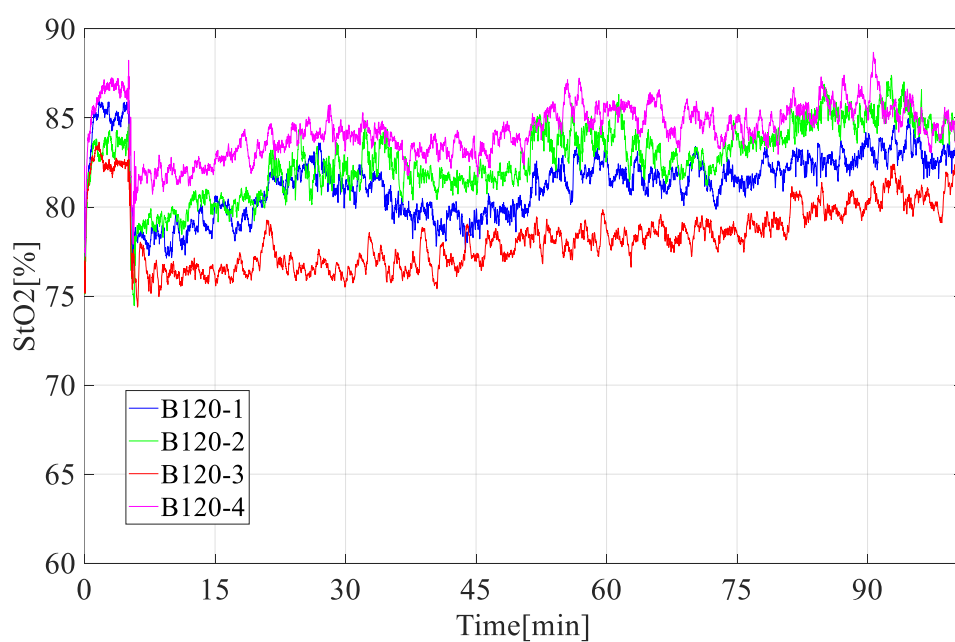
B120-3

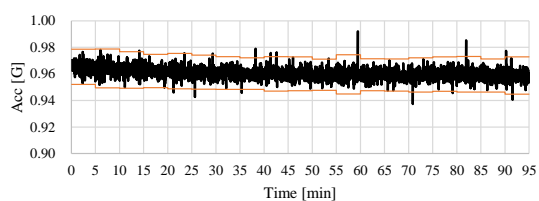


B120-4

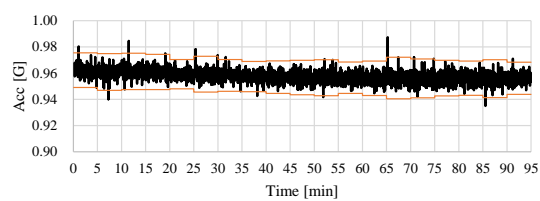
Sample 4 Posture Shape of Pattern 2 for Participant A

Sample 5 Measurements of StO<sub>2</sub> in Pattern 1 for Participant ASample 6 Measurements of StO<sub>2</sub> in Pattern 2 for Participant A

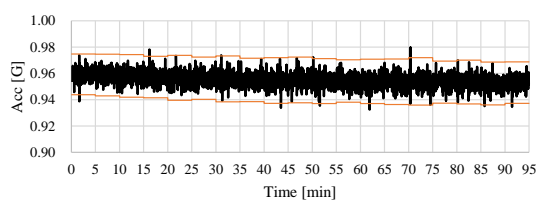
Sample 7 Measurements of StO<sub>2</sub> in Pattern 1 for Participant BSample 8 Measurements of StO<sub>2</sub> in Pattern 2 for Participant B



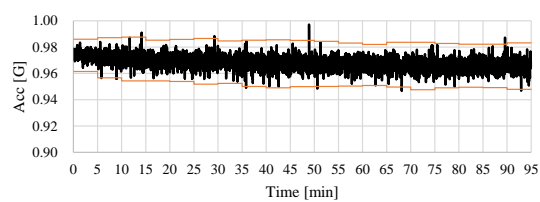
Off1



Off2

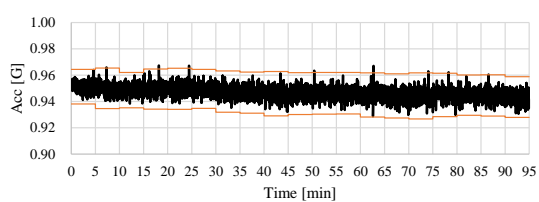


Off3

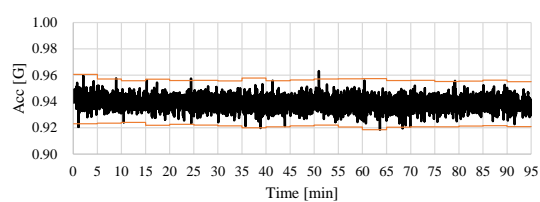


Off4

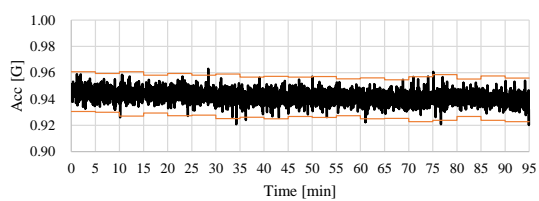
Sample 9 Acceleration Graph of Pattern 1 for Participant A



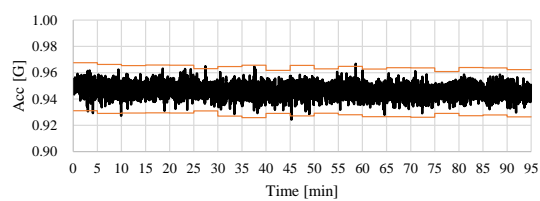
B120-1



B120-2

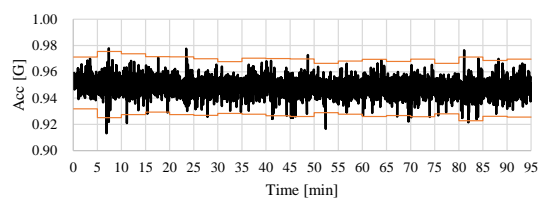


B120-3

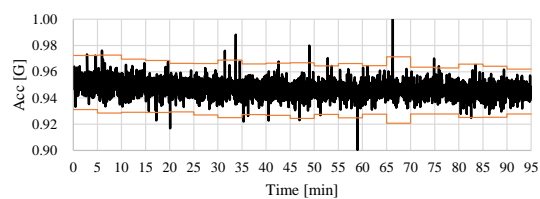


B120-4

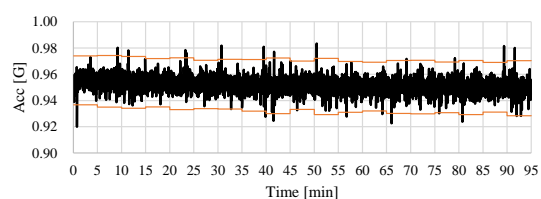
Sample 10 Acceleration Graph of Pattern 2 for Participant A



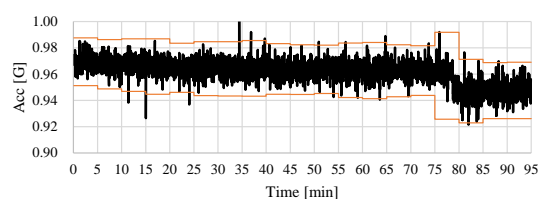
Off1



Off2

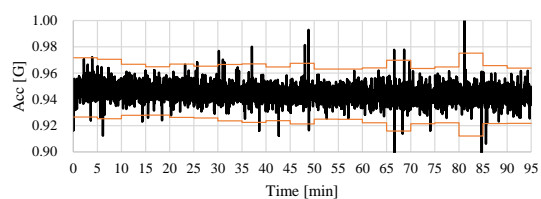


Off3

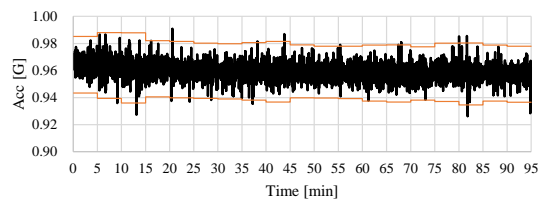


Off4

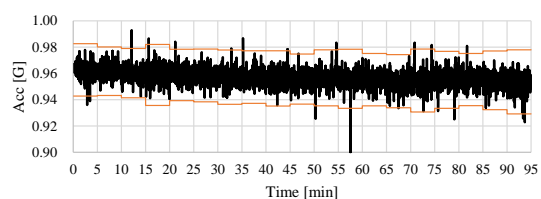
Sample 11 Acceleration Graph of Pattern 1 for Participant B



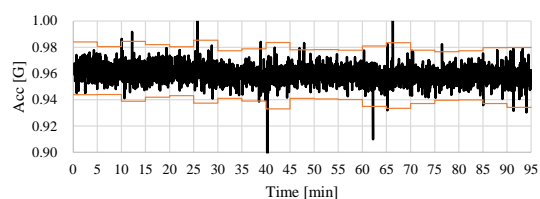
B120-1



B120-2



B120-3



B120-4

Sample 12 Acceleration Graph of Pattern 2 for Participant B



Sample13 Changes in the Number of Body Movements in Pattern 1  
for Participant A

		15min	30min	45min	60min	75min	90min	95min
Off1	Lumber	2	2	3	3	5	6	7
	Buttocks	1	2	2	3	3	4	4
	Back	1	2	2	3	3	4	4
Off2	Lumber	2	2	3	4	4	5	6
	Buttocks	1	2	2	2	3	3	3
	Back	1	2	3	3	4	5	5
Off3	Lumber	2	2	3	4	5	6	6
	Buttocks	1	2	2	2	3	3	3
	Back	1	2	2	3	3	4	4
Off4	Lumber	2	2	3	3	4	6	6
	Buttocks	1	1	2	3	3	3	4
	Back	1	2	3	3	4	4	4

Sample14 Changes in the Number of Body Movements in Pattern 2  
for Participant A

		15min	30min	45min	60min	75min	90min	95min
B120-1	Lumber	2	2	3	4	5	6	6
	Buttocks	1	2	2	3	3	4	4
	Back	1	2	2	2	3	4	4
B120-2	Lumber	2	2	3	3	4	5	5
	Buttocks	1	2	2	3	3	3	4
	Back	1	2	2	3	4	4	4
B120-3	Lumber	2	2	3	4	4	5	5
	Buttocks	1	2	2	3	3	3	4
	Back	1	2	3	3	4	5	5
B120-4	Lumber	1	2	3	3	4	5	5
	Buttocks	1	2	2	3	3	3	4
	Back	2	2	2	3	4	5	5

Sample15 Changes in the Number of Body Movements in Pattern 1  
for Participant B

		15min	30min	45min	60min	75min	90min	95min
Off1	Lumber	2	3	3	4	6	7	7
	Buttocks	1	1	2	3	3	4	4
	Back	1	2	3	3	4	5	5
Off2	Lumber	1	2	4	4	6	7	7
	Buttocks	1	2	2	3	4	4	4
	Back	2	2	3	3	4	5	5
Off3	Lumber	2	2	3	5	5	6	6
	Buttocks	1	2	3	3	4	4	5
	Back	1	2	2	3	4	5	5
Off4	Lumber	1	2	3	5	6	6	6
	Buttocks	1	2	3	4	4	5	5
	Back	2	2	3	3	4	5	5

Sample16 Changes in the Number of Body Movements in Pattern 2  
for Participant B

		15min	30min	45min	60min	75min	90min	95min
B120-1	Lumber	1	2	2	3	3	4	4
	Buttocks	1	2	2	3	3	4	4
	Back	1	2	2	3	4	4	5
B120-2	Lumber	1	2	2	3	3	4	5
	Buttocks	1	2	2	3	4	5	5
	Back	1	2	2	3	3	4	4
B120-3	Lumber	1	2	2	3	4	5	6
	Buttocks	1	2	2	4	4	4	4
	Back	1	2	3	3	4	4	4
B120-4	Lumber	1	2	3	3	4	5	5
	Buttocks	1	1	2	3	3	4	5
	Back	1	2	2	3	4	4	4