

## 修士論文の和文要旨

研究科・専攻	大学院 情報システム学研究科 情報ネットワークシステム学専攻 博士前期課程		
氏名	神田 尚子	学籍番号	1152011
論文題目	心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システム		
要旨	<p>人間は色彩環境に影響を受けることが広く知られている。心理的・生理的影響に着眼した研究が存在し、人がある色に感じるカラーイメージや、受ける生理的影響に基づいて、状況に適切な色彩環境を見出すための研究が進められている。これらの研究において、色は共通の影響を人間に与える傾向があることが示されているが、同時に個人の嗜好により大きく影響に差がでることについても示唆されている。また、人間の心拍変動は作業能率との間に相関がある。</p> <p>近年電子デバイスのウェアラブル化が進み、このことは生体情報のモニタリング機器の小型・軽量化にも影響を与えた。特に心拍については大規模な医療機器を使用することが主であり、大規模で高価な設備以外で計測すること以外は不可能であったが、近年ではスポーツをしながらも装着可能で安価なものが多数登場してきている。これにより、身体に負担をかけずに心拍モニタリングを行うことが可能である。</p> <p>本論文では、心拍変動からユーザの作業能率を予測した結果に基づいて、リアルタイムに作業環境の色彩をユーザの嗜好に合わせて変換し、作業能率を向上させるシステムを提案する。本提案では、従来指摘されているような、心拍変動と作業能率の相関、色彩と心拍変動の相関を利用する。心拍変動からユーザの作業能率を推測し、作業に望ましい状態へ促すように色彩を変更する。</p> <p>このようなフィードバックのため、心拍変動と作業能率の相関を検証した。加えて、赤、緑、青の色彩環境について作業能率の時間変化、および心拍変動を観察した。実験では、心拍変動の HF 成分(高周波成分)、LF/HF 比(低周波成分を高周波成分で割ったもの)とクレペリン検査の成績の相関について、色彩ごとの変化はみられなかったが、心拍変動から作業能率の上昇・下降を推測できるような結果が得られた。また、各色彩環境についての被験者の所感を得られた。</p> <p>検証実験の結果をもとに、作業能率に応じて色彩環境が変化するシステムを実装した。作業能率が下降していると推測された場合のうち、HF が上昇しておりリラックスしすぎていると推測されたケースには被験者が「やる気が出る」と答えた色彩環境を提示し、ストレスを感じすぎていると推測されたケースには「落ち着きを感じる」と被験者が回答した色彩環境を提示する。作業能率が下降していない場合には、先に提示した二色以外の色彩環境を提示した。システムを実装し、被験者へのアンケートと、色彩が変化した後のクレペリン検査の成績をもとに評価を行った。</p>		



電気通信大学大学院情報システム学研究科

2013 Jan.

# 修士論文

## 心拍変動フィードバックによる 色彩環境構築システム

指導教員 入江 英嗣 准教授

副指導教員 吉永 努 教授

副指導教員 笠井 裕之 准教授

平成 25 年 1 月 24 日

提出者

所属	大学院情報システム学研究科 情報ネットワークシステム学専攻
学籍番号	1152011
氏名	神田 尚子

(表紙裏)

# 目次

第1章	序論	1
第2章	関連研究	4
2.1	色彩環境が人間に及ぼす影響	4
2.1.1	色彩環境	4
2.1.2	色彩環境の心理・生理への影響	4
2.1.3	色彩環境の作業能率への影響	4
2.1.4	従来の色彩環境の問題点	7
2.2	心拍変動と作業能率との相関	7
2.2.1	心拍変動	7
2.2.2	心拍変動と作業中の精神的負荷との相関	7
2.3	バイオフィードバック	8
第3章	心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システムの提案	10
3.1	システム概要	10
3.1.1	心拍間隔の取得・解析	10
3.2	作業能率の推定	11
3.3	提示する色の決定・色彩環境の提示	13
第4章	心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システムの実装	15
4.1	提案	15
4.2	心拍間隔のリアルタイム測定	15
4.2.1	測定機器・受信機器	15
4.2.2	データのコンピュータへの出力	15
4.3	心拍変動解析による作業能率推定	15
4.3.1	心拍間隔の補正・補間	15
4.3.2	連続ウェーブレット変換による自律神経の状態の取得	18
4.3.3	色彩環境の提示	18
第5章	実験	22
5.1	色彩の作業能率・心拍変動への影響についての検証実験	22
5.1.1	実験概要	22
5.1.2	色彩環境の構築	22
5.1.3	内田クレペリンテスト	22
5.1.4	結果・考察	25
5.2	心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システムの評価実験	27

5.2.1	実験概要	27
5.2.2	心拍変動フィードバックによる動的な色彩環境の構築	27
5.2.3	結果・考察	27
5.3	議論	36
第6章	応用例	42
第7章	結論	43
	謝辞	44
	参考文献	46
	発表文献	47
	付録	48

# 目次

1.0.1 心電計 [1]	2
1.0.2 心拍間隔を測定することのできるウェアラブルデバイス [2]	2
1.0.3 色彩環境・心拍変動・作業能率の相関	3
2.1.1 人間が受け取る感覚の割合 [3]	5
2.1.2 色彩が研究されている分野 [3]	5
2.1.3 会議室における色彩デザインの例 [4]	6
2.1.4 図書室における色彩デザインの例 [5]	6
2.3.1 高速フーリエ変換 (FFT) を用いた周波数解析	9
3.1.1 システム概要	12
3.2.1 連続ウェーブレット変換による心拍変動解析	12
3.3.1 心拍変動に基づいた作業能率推定・色彩環境提示	14
4.1.1 アルゴリズム概略	16
4.1.2 心拍変動の取得・フィードバックの時間間隔	16
4.1.3 GARMIN プレミアムハートレートモニター [2]	17
4.1.4 USB ANT スティック [2]	17
4.2.1 心拍間隔の時系列データ	19
4.3.1 スプライン補間	19
4.3.2 心拍間隔の補正・補間	20
4.3.3 連続ウェーブレット変換による自律神経の状態の取得	20
5.1.1 色彩環境内部	23
5.1.2 クレペリン検査の実験用紙	23
5.1.3 色彩環境外部	24
5.1.4 実験風景	24
5.1.5 被験者 A の赤についての検証結果	29
5.1.6 被験者 A の緑についての検証結果	30
5.1.7 被験者 B の赤についての検証結果	31
5.1.8 被験者 B の緑についての検証結果	32
5.1.9 被験者 B の青についての検証結果	33
5.1.10 被験者 C の緑についての検証結果	34
5.1.11 被験者 D の青についての検証結果	35
5.3.1 被験者 A の評価実験についての結果	38
5.3.2 被験者 B の評価実験についての結果	39

5.3.3 被験者 C の評価実験についての結果 . . . . .	40
5.3.4 被験者 D の評価実験についての結果 . . . . .	41

# 表目次

5.1 検証実験における各色彩環境においての心拍変動と作業能率との相関係数 (NaN は、計算不可能であったデータを示す) . . . . .	28
5.2 被験者 A の色の嗜好 . . . . .	37
5.3 被験者 B の色の嗜好 . . . . .	37
5.4 被験者 C の色の嗜好 . . . . .	37
5.5 被験者 D の色の嗜好 . . . . .	37
7.1 検証実験の結果 (被験者 A-赤-実験 1 回目) . . . . .	49
7.2 検証実験の結果 (被験者 A-赤-実験 2 回目) . . . . .	50
7.3 検証実験の結果 (被験者 A-赤-実験 3 回目) . . . . .	51
7.4 検証実験の結果 (被験者 A-緑-実験 1 回目) . . . . .	52
7.5 検証実験の結果 (被験者 A-緑-実験 2 回目) . . . . .	53
7.6 検証実験の結果 (被験者 A-緑-実験 3 回目) . . . . .	54
7.7 検証実験の結果 (被験者 A-青-実験 1 回目) . . . . .	55
7.8 検証実験の結果 (被験者 A-青-実験 2 回目) . . . . .	56
7.9 検証実験の結果 (被験者 A-青-実験 3 回目) . . . . .	57
7.10 検証実験の結果 (被験者 B-赤-実験 1 回目) . . . . .	58
7.11 検証実験の結果 (被験者 B-赤-実験 2 回目) . . . . .	59
7.12 検証実験の結果 (被験者 B-赤-実験 3 回目) . . . . .	60
7.13 検証実験の結果 (被験者 B-緑-実験 1 回目) . . . . .	61
7.14 検証実験の結果 (被験者 B-緑-実験 2 回目) . . . . .	62
7.15 検証実験の結果 (被験者 B-緑-実験 3 回目) . . . . .	63
7.16 検証実験の結果 (被験者 C-赤-実験 1 回目) . . . . .	64
7.17 検証実験の結果 (被験者 C-赤-実験 2 回目) . . . . .	65
7.18 検証実験の結果 (被験者 C-赤-実験 3 回目) . . . . .	66
7.19 検証実験の結果 (被験者 C-緑-実験 1 回目) . . . . .	67
7.20 検証実験の結果 (被験者 C-緑-実験 2 回目) . . . . .	68
7.21 検証実験の結果 (被験者 C-緑-実験 3 回目) . . . . .	69
7.22 検証実験の結果 (被験者 D-赤-実験 1 回目) . . . . .	70
7.23 検証実験の結果 (被験者 D-赤-実験 2 回目) . . . . .	71
7.24 検証実験の結果 (被験者 D-赤-実験 3 回目) . . . . .	72
7.25 検証実験の結果 (被験者 D-緑-実験 1 回目) . . . . .	73
7.26 検証実験の結果 (被験者 D-緑-実験 2 回目) . . . . .	74
7.27 検証実験の結果 (被験者 D-緑-実験 3 回目) . . . . .	75
7.28 検証実験の結果 (被験者 D-青-実験 1 回目) . . . . .	76



7.29	検証実験の結果(被験者 D-青-実験 2 回目)	77
7.30	検証実験の結果(被験者 D-青-実験 3 回目)	78
7.31	システムの評価実験の結果(被験者 A-実験 1 回目)	80
7.32	システムの評価実験の結果(被験者 A-実験 2 回目)	81
7.33	システムの評価実験の結果(被験者 A-実験 3 回目)	82
7.34	システムの評価実験の結果(被験者 B-実験 1 回目)	83
7.35	システムの評価実験の結果(被験者 B-実験 2 回目)	84
7.36	システムの評価実験の結果(被験者 B-実験 3 回目)	85
7.37	システムの評価実験の結果(被験者 C-実験 1 回目)	86
7.38	システムの評価実験の結果(被験者 C-実験 2 回目)	87
7.39	システムの評価実験の結果(被験者 C-実験 3 回目)	88
7.40	システムの評価実験の結果(被験者 D-実験 1 回目)	89
7.41	システムの評価実験の結果(被験者 D-実験 2 回目)	90
7.42	システムの評価実験の結果(被験者 D-実験 3 回目)	91

# 第1章 序論

IT(情報技術)化が急速に進められたことにより、VDT作業(Visual Display Terminals)が広く職場に導入されてきた。労働様態は大きな変化を迎え、肉体作業は減少し、VDT作業をはじめとした精神作業が中心となりつつある。このことは、屋内で作業する時間が増加してきていることを示唆しており、それに伴い作業環境の影響について作業者により重要視されてきている。

色彩は、環境をデザインする上で必ず考慮される一要素である。人がある色に感じるカラーイメージや、受ける生理的影響に基づいて、状況に適切な色彩環境を見出すための研究が進められている。

例えば、加藤らはVDT作業時のストレスを軽減する色彩環境を検討するために、心拍変動を用いて色彩環境の心身に与える影響を解析した。色彩環境に対する個人への影響は、色そのものの影響、心的特徴、嗜好の問題によって決定されることを明らかにしている [6]。深澤らは、健康な成人が持つ色のイメージと、実験から得た生理的な指標から心身ともに落ち着きをもたらす色彩環境の検討を行ない、有意な結果を得ている [7][8]。

色彩環境の生理的・心理的影響に加え、水野谷らによって作業能率への影響についても研究が進められている [9][8]。

人間の作業の状態は自律神経との間に相関がある。心拍変動(心拍のゆらぎ)を解析した結果との相関について明らかにしようとする試みが盛んに行われている [10][11][12][13]。このような研究は、心拍から作業能率を推測できる可能性を示唆している。

従来では、心拍の測定には、医療機器である心電計(図 1.0.1)を使用することが主であり、大規模で高価な設備以外で計測することは不可能であった。しかし、電子デバイスのウェアラブル化が進んだことで、心拍のモニタリング機器にも小型・軽量化の影響を与えた。このため、スポーツをしながらでも装着可能で安価なものが多数登場してきている(図 1.0.2)。

本論文では、ウェアラブルデバイスと近年の大きく計算速度の向上したコンピュータを使用し、作業中の人間の作業状態を作業者の負担にならずにリアルタイムに推測する。色彩環境・心拍変動・作業能率の間の相関(図 1.0.3)を利用し、心拍変動からユーザの作業能率を推測した結果に基づいて、動的に色彩環境を変換し、作業能率を向上させるシステムを提案する。システムを実装し、実験を行い、評価を行った結果について報告する。

また、心拍変動から作業能率を推測する手法についても提案し、検証を行った結果について報告する。

本論文では、第2章において関連研究を紹介する。第3章では提案システムについて概要を説明し、第4章にて実装について記述する。第5章では心拍変動と作業能率の相関を検証し、またシステムの評価を行う。第6章では、第5章での評価結果から、本システムの応用例と発展について記し、第7章にて結論を述べる。



図 1.0.1: 心電計 [1]



図 1.0.2: 心拍間隔を測定することのできるウェアラブルデバイス [2]

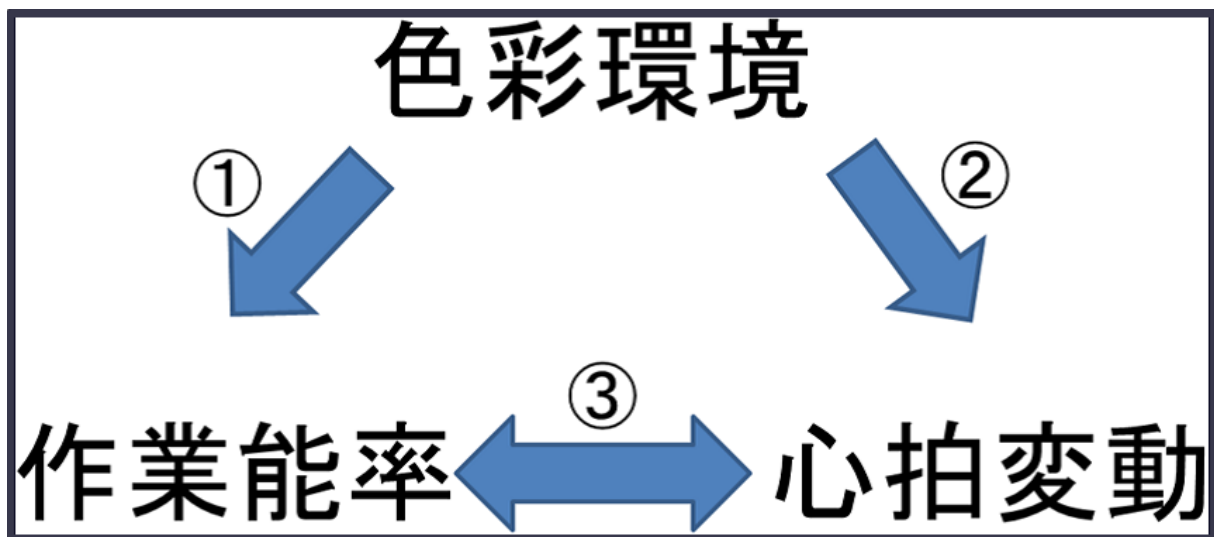


図 1.0.3: 色彩環境・心拍変動・作業能率の相関

## 第2章 関連研究

### 2.1 色彩環境が人間に及ぼす影響

#### 2.1.1 色彩環境

視覚は人間が受け取る感覚の情報量の8割を占める(例:図2.1.1)。視覚によって得られる色の情報も人間に大きな影響を与えると考えられ、図2.1.2のようにさまざまな分野で研究が進められてきた。おおまかに分けて、人に対して下記のような影響を与えるといわれている。

- 感情への心理的影響
- 肉体への生理的影響

この影響を利用したものが、色彩デザインである。

色彩デザインは、ファッション・広告・Webデザイン・インテリア・オフィス等に利用され、空間の演出や、有目性を与える、好印象を与える、といった用途で行われる。このようなデザインを環境に対して適用したものが、色彩環境である。

色彩環境は、空間に対して使用用途に合わせたデザインを行うことで構築される。例えば、会議室には、議論を活発にし思考の回転を高める色彩として、赤、黄などの暖色系が使われる傾向がある(例:図2.1.3)。反対に、図書室には知的で論理的な印象を与える色彩として寒色系が使用されることが多い(例:図2.1.4)。このように、色彩環境は利用者の使用目的に適応した環境を作る際に重要視され、考慮される。

#### 2.1.2 色彩環境の心理・生理への影響

人間の色彩に対しての心理的・生理的反応について、大森らは色彩刺激が心理と生理に及ぼす効果について明らかにしようと試みている[14]。この研究では、自律・中枢神経活動を評価するための指標として心拍変動と脳波の測定を行っている。また、心理評価も行い、SD法による因子分析を行っている。心拍変動と計算中の作業負荷には相関があり、色彩に対しての反応としても双方に統一した結果が見られたことを報告している。

また、加藤ら[6]は個人の心的特性や嗜好を考慮し、疲れを軽減する色彩を見出している。また、色そのものの特徴よりも個人の嗜好により生理的・心理的影響が異なる色彩があることが指摘されている。

#### 2.1.3 色彩環境の作業能率への影響

色彩環境の作業能率への影響については、水野谷らにより研究され、議論されている[15][8][9]。クレペリン検査(第5章にて解説)を用いて、さまざまな色彩環境下においてクレペリン検査を実施

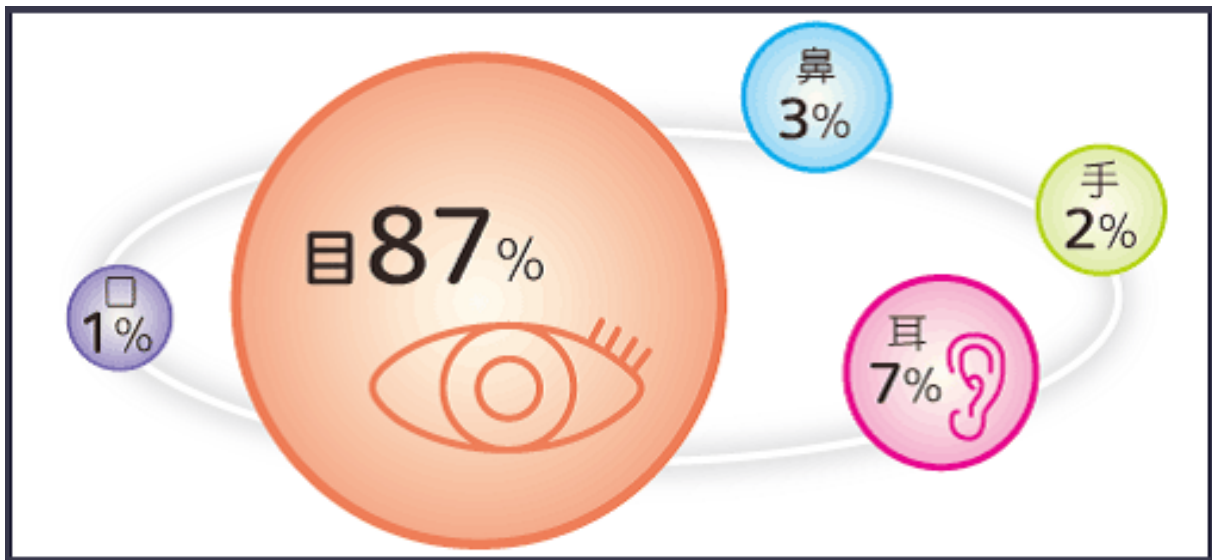


図 2.1.1: 人間が受け取る感覚の割合 [3]



図 2.1.2: 色彩が研究されている分野 [3]



図 2.1.3: 会議室における色彩デザインの例 [4]



図 2.1.4: 図書室における色彩デザインの例 [5]

し、テストの成績をもとに、各色彩環境が作業能率に及ぼす影響を定量的に評価し、また色彩環境に対する主観的調査を質問紙記述式にて実施し検討している。実際に実験を行い、色彩環境の違いは作業能率に差異を与えることを明らかにしている。

#### 2.1.4 従来の色彩環境の問題点

色彩は色ごとに共通した影響を人間に与える傾向があるが、個人の嗜好による影響の違いについて、現状の色彩デザインでは対応できない。また、人間の生理的・心理的な状態は常に変化するものであるため、ある特定の状況・用途に合わせてデザインされた色彩環境下では、時に悪影響となる場合がある。

## 2.2 心拍変動と作業能率との相関

### 2.2.1 心拍変動

心臓の拍動は、心臓の筋肉が定期的に収縮することによって起こる。心電図にはこの瞬間はR波という種類の波として現れ、この瞬間が「心臓が拍動した」と定義される。この拍動と拍動の間の時間を、心拍間隔 (RR Interval, 以下 RRI と記述) と呼ぶ。

RRI は、健常な人間のものは常に揺らいでいる。このゆらぎを心拍変動という。RRI に対して周波数解析を行った結果は、自律神経の状態を反映する (図 2.3.1)。高周波成分 (以下、HF 成分と記す) は交感神経の賦活度を、低周波成分を高周波成分で割った比 (以下、LF/HF 比と記す) は副交感神経の賦活度をそれぞれ示す。このため、HF 成分・LF/HF 比は、以下の生理的指標として広く用いられている。

- HF 成分：疲れが癒されている、リラックスしている状態の指標
- LF/HF 比：集中している、ストレス (精神的負荷) を感じている状態の指標

### 2.2.2 心拍変動と作業中の精神的負荷との相関

RRI と作業中の精神的負荷の相関について、明らかにしようとする試みが多数存在する。

本田らは、緊急発生時における作業におけるストレスについて、客観的側面として生理的指標を用いて評価し、加えて主観評価と生理的指標や作業成績との相関について検討している [10]。作業中には LF/HF 比が作業前に比べて上昇することを示し、また主観評価の「やる気」と LF/HF 比、作業成績の間に正の相関があることを明らかにした。また、矢島らはメンタルストレステスト実施時の HF 成分・LF/HF 比について調査を行い、その相関について調査した [13]。結果、課題時には HF 成分は低下し、安静時には HF 成分は増加、LF/HF 比は低下することを示している。

石橋らは、精神負担の指標として心拍数を用いた結果について報告している [12]。精神作業の負担度と心拍数の量的関係について実験的に検討した結果、知的課題の難易度とほぼ比例的に対応して変化する傾向があることを示した。

以上のように、心拍変動と作業中の精神的負荷の間には相関があり、HF 成分、LF/HF 比は作業成績の上昇・下降に対応して変化的ことが示されている。しかし、HF 成分、LF/HF 成分から作業能率の相関を求めた研究は存在しない。



## 2.3 バイオフィードバック

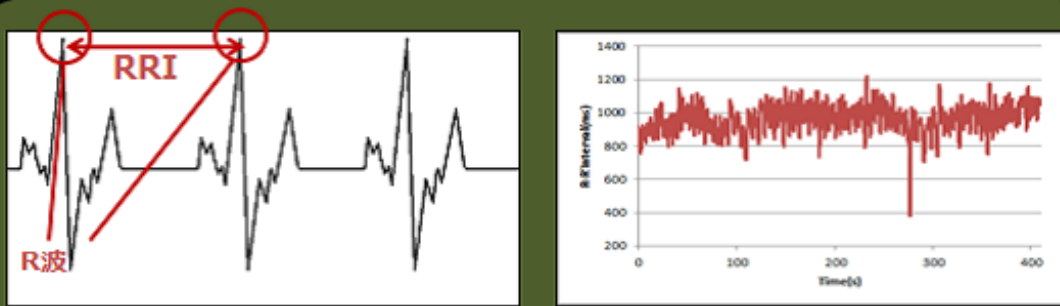
ウェアラブルデバイスの発展と、コンピュータの計算速度の向上により、リアルタイムなフィードバックが可能となった。このことを利用し、生理的指標に基づいてユーザにフィードバックを行うおうとする試みは、作業支援やエンターテインメントといった様々な分野に存在する。

杉田らは、人間の生理的・心理的・精神状態を仮想空間にフィードバックするような人工現実感システムを実現する目的で、独自に提案した生理的指標を用いて音声あるいは映像を変化させるシステムを提案している [16]。牛田らは、RRI 変動係数によって実時間で音楽の音量を変えた時の、生体を与える影響を検討している [17]。RRI 変動係数に音量を比例させる手法により、作業への主観的な負担を減少させ、集中度を高める効果があることを明らかにした。

このように、バイオフィードバックについての研究は多数存在し、ユーザの状況に応じて目的とする効果を与えることが可能であることが示されている。

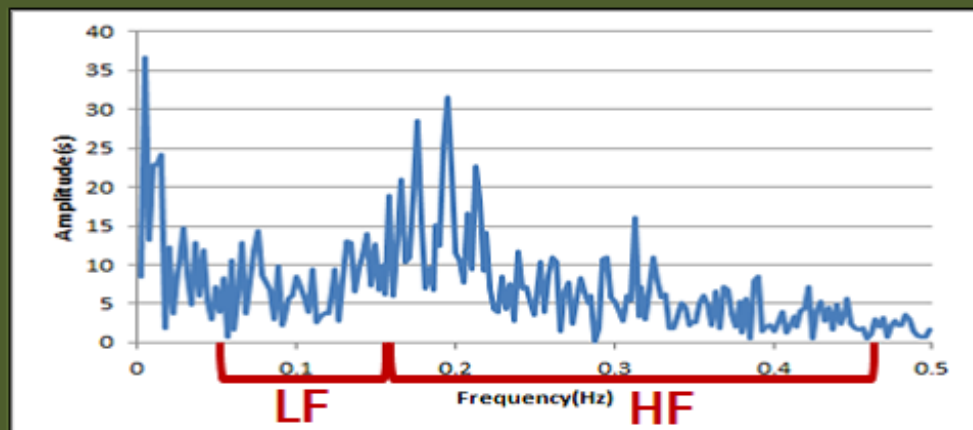
# 心拍変動

心拍間隔(RRI)のゆらぎ. 周波数解析を行うことにより, 自律神経の状態を取得することが可能



心拍間隔(RRI)

FFT変換による周波数解析



周波数成分

## HF成分

副交感神経の賦活度.  
リラックスの度合いに対応して上昇.

## LF/HF比

交感神経の賦活度  
集中, 心理ストレスに対応して上昇

※LF : 低周波数 HF : 高周波数

図 2.3.1: 高速フーリエ変換 (FFT) を用いた周波数解析

## 第3章 心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システムの提案

### 3.1 システム概要

従来の色彩環境は、人間に対する一般的な色の傾向をもとにデザインされてきた。このため、個人の嗜好は考慮されていない。また、人間の状態は常に変化しているものであるため、最適な色彩環境も常に合わせて変化する。このように、従来の変化のない色彩環境では、この二点の問題を解決することは不可能である。これらを解決し、よりよい色彩環境を構築するためには、個人の嗜好・状況に合わせて動的に変化する色彩環境を構築する必要がある。

また、第2章にて、色彩環境・作業能率・心拍変動の間には、それぞれに相関があることを述べた。よって、この3要素には図1.0.3のような相関があるということになる。この相関は、作業能率を心拍変動から推測し、その結果からユーザの状態に最適な色彩環境を判断し、提示することが可能であることを示している。

本論文では、心拍変動解析の結果からユーザの作業能率をリアルタイムに推定し、その状況に応じたフィードバックを行うシステムを提案する。図3.1.1にシステム概要を示す。

ウェアラブルデバイスを用いてユーザの心拍間隔を取得し、データとして記録する。フィードバックを始めるタイミングになったら、一定間隔遡った時点からフィードバックを行うタイミングまでの時点のRRIデータについて、ウェーブレット変換を用いた周波数解析を行う。取得したHF成分、LF/HF比に基づいて作業能率についての状況推定を行い、ユーザの色の嗜好に合わせて色彩環境を提示する。この一連の動作を一定間隔で繰り返すことにより、色彩環境を用いたリアルタイムフィードバックを行い、作業能率の支援を行う。

作業能率の推定は、第5章での検証実験の結果から得られた傾向に基づいて行う。

#### 3.1.1 心拍間隔の取得・解析

本手法では、作業者の負担にならないことを考慮し、RRIをリアルタイムにコンピュータへ送信することのできるウェアラブルデバイスを使用する。デバイスから送信されるRRIをコンピュータで受信し、記録したデータをコンピュータで解析する。

心拍変動解析には、連続ウェーブレット変換を用いる。解析の全体像について、図3.2.1に示す。従来の周波数解析では、RRIを自己回帰モデルやFFTによるパワースペクトル解析を行う方法が用いられてきたが、非定常に変化するRRIの時間的な変化を捉えることは難しい。しかし、ウェーブレット変換を用いることにより、自律神経活動の変化を秒単位で捉えることができる。

## 3.2 作業能率の推定

作業能率と心拍との関係を定量的に示した研究は存在しないが、作業者のストレス・疲労・集中力と心拍変動との間に相関があることから、作業能率を心拍変動から仮定できると仮定し、検証実験を行った(第5章にて説明)。

実験の結果、推定することが可能である傾向を見いだせた。LF/HFの値が一定以上より高い場合にはLF/HFが下がったほうが作業能率は上がり、LF/HFの値が一定より低い場合には、HFが上昇すると作業能率は下がる、というものである。

この予測を用いてユーザの作業能率の下降・上昇の推定を行う。

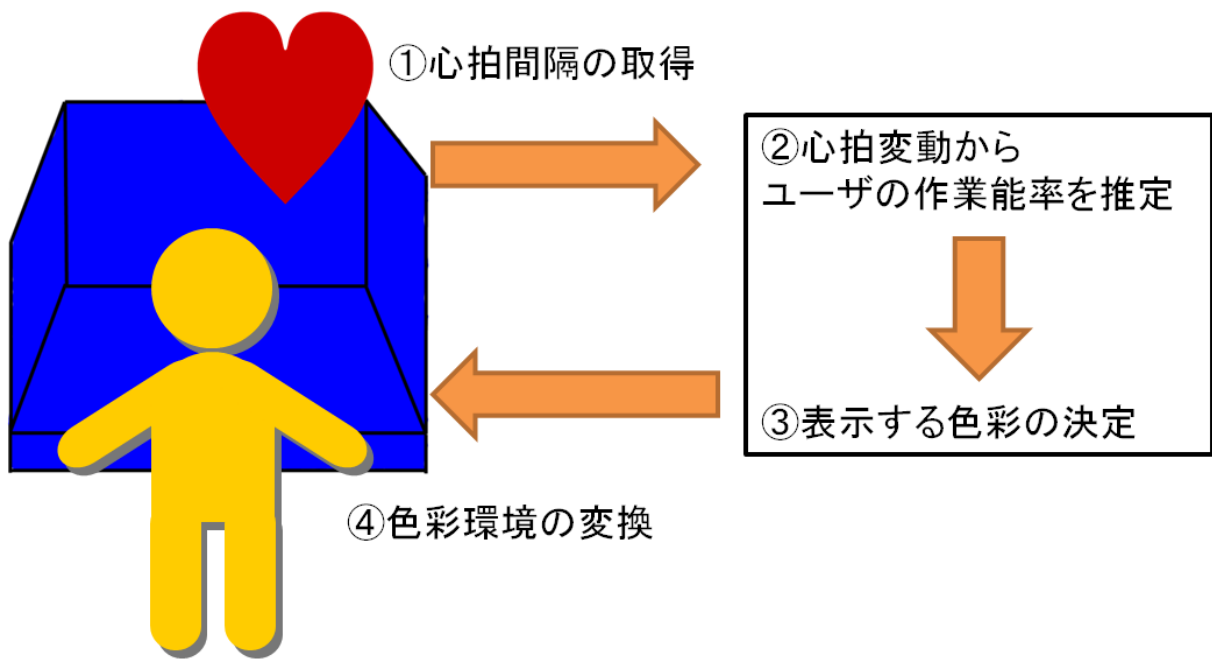


図 3.1.1: システム概要

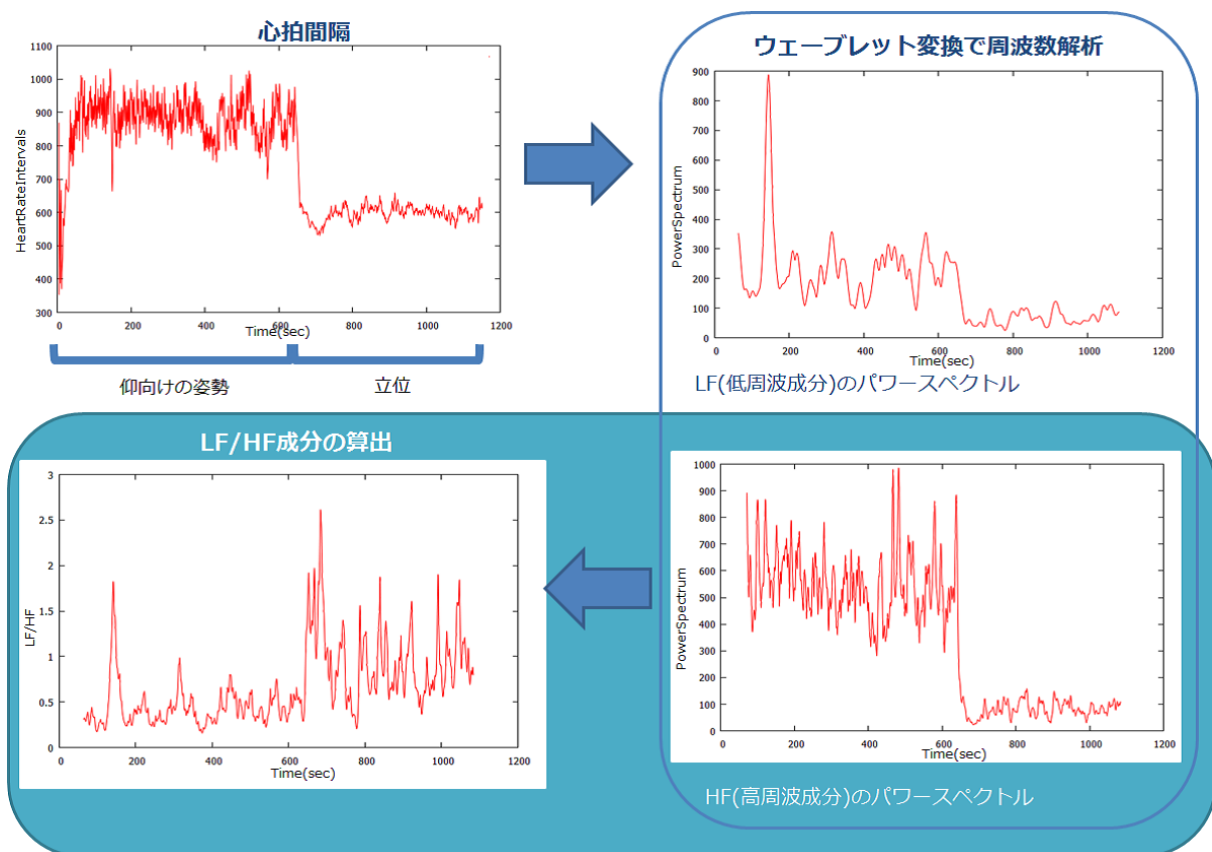


図 3.2.1: 連続ウェーブレット変換による心拍変動解析

### 3.3 提示する色の決定・色彩環境の提示

作業能率の推定にもとづいて、表示する色彩の決定を行う。作業能率の下降・上昇を推定し、被験者の嗜好に合わせた色彩環境を提示する。これにより、ユーザの作業能率の下降を防ぎ、全体として作業能率が向上するよう支援する。

LF/HF 比は集中度・やる気と正の相関が有り、基本的には高いことが望ましい [10]。しかし、ある閾値を超えた値は過度の緊張・ストレス・疲労を感じている状態を反映しているとされ、この状態では作業への反応時間は低下する [18]。この閾値は個人差や時間的要因により変化するが、正しく定義する手法については依然確立されていない。このため、実験的に閾値を 1.5 に定め、閾値より LF/HF 比が高い場合にはユーザが過度のストレスを受けており、作業能率が低下すると定義する。

また、色の人への生理的・心理的影響は個々人の嗜好により個人差が出ることを考慮し、赤・緑・青の三色を、落ち着くもの、やる気の出るもの、集中しているときに見たいのうちからユーザが自由に 1 つずつ割り当てる形とする。

以上から、フィードバックのタイミングの際に、心拍変動の周波数解析の結果に基づいて下記のように提示する色彩環境の色を決定する。概略を図 3.3.1 に示す。

- LF/HF が 1.5 以上：ユーザが落ち着くものとして選んだ色
- LF/HF が 1.5 未満、HF が上昇している (回帰直線の傾きが正である)：ユーザがやる気の出るものとして選んだ色
- その他：ユーザが集中しているときに見たいものとして選んだ色

以上により、ユーザの作業能率の推定に基づきユーザに効果的である色を決定し、色彩環境を提示することで作業支援を行う。

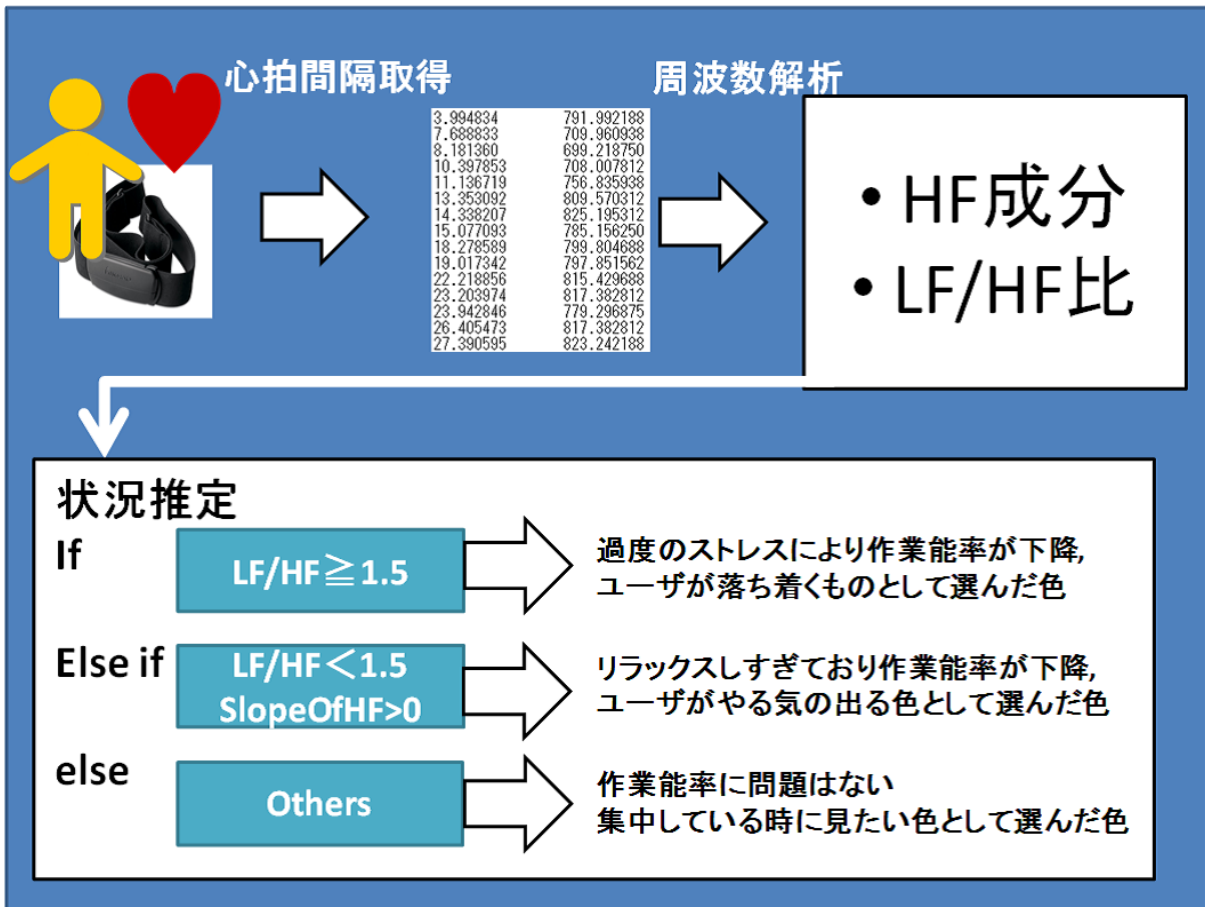


図 3.3.1: 心拍変動に基づいた作業能率推定・色彩環境提示

## 第4章 心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システムの実装

### 4.1 提案

システムのアロリズムの概略を、図 4.1.1 に示す。

フィードバックは、1分ごとに行う。フィードバックを行う時点より一定間隔を遡った時点から、フィードバックを行う時点までに取得した心拍間隔のデータに対し、データの補正・スプライン補間を行い、ウェーブレット変換による周波数解析を行う(図 4.1.2)。HF成分、LF/HF比を取り出し、ストレス/リラクスの状態を推測する。最後に被験者の嗜好のデータをもとに、色彩環境を変更する。この流れを一定間隔で繰り返すことにより、ユーザへの定期的な色彩環境フィードバックを実現する。

### 4.2 心拍間隔のリアルタイム測定

#### 4.2.1 測定機器・受信機器

心拍間隔の測定には、GARMIN社のプレミアムハートレートモニター(図 4.1.3)を使用する。このデバイスは、胸部に巻くタイプの測定器であり、運動中の心拍数を測定する用途のものであり、作業者に負担をかけずに心拍間隔を測定することが可能である。ベルトから出力される心拍の拍動時のRRIを、GARMIN社のUSB ANTスティック(図 4.1.4)を用いて、コンピュータでリアルタイムに受信する。

#### 4.2.2 データのコンピュータへの出力

プレミアムハートレートモニターがリアルタイムに出力するデータをリアルタイムに受信し、取得時の時刻と合わせてコンピュータにテキストファイルとして書き出す。これにより、時系列のRRIのデータをする。

### 4.3 心拍変動解析による作業能率推定

#### 4.3.1 心拍間隔の補正・補間

異常値の補正

プレミアムハートレートモニターを用いて取得したRRIに対しウェーブレット変換による周波数解析を行った際に、HF成分・LF/HF比の値に著しく高い値が発生することがある。このような値



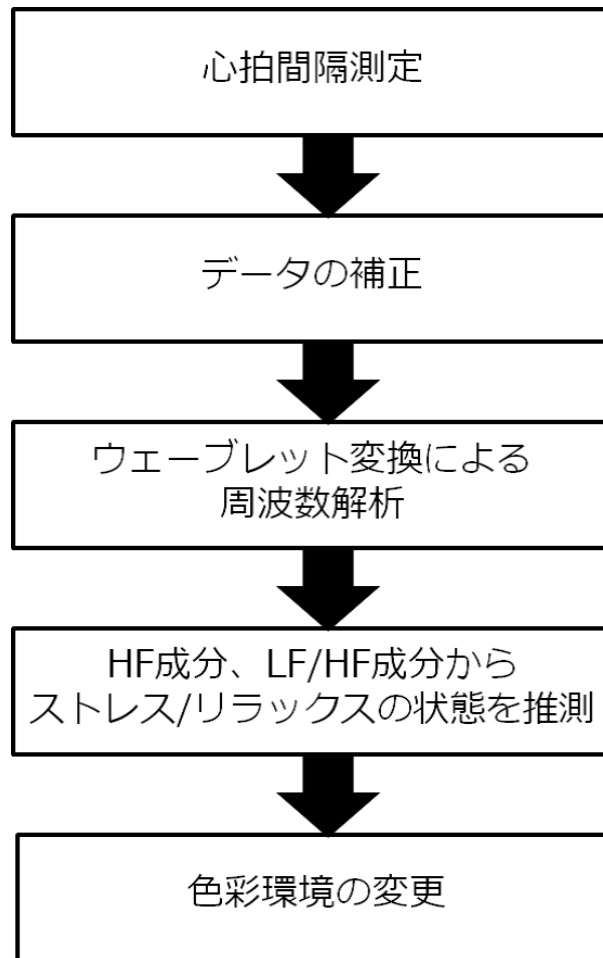


図 4.1.1: アルゴリズム概略

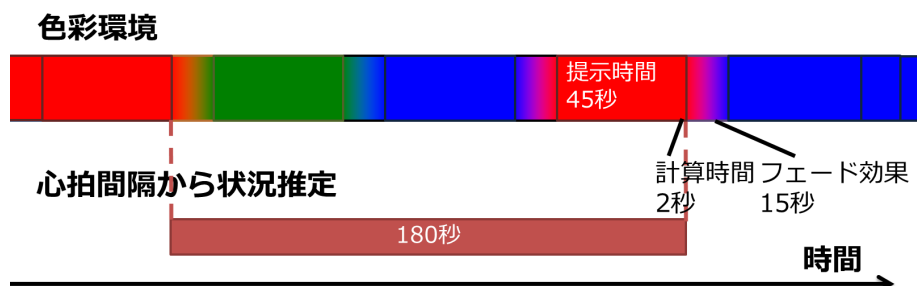


図 4.1.2: 心拍変動の取得・フィードバックの時間間隔



図 4.1.3: GARMIN プレミアムハートレートモニター [2]



図 4.1.4: USB ANT スティック [2]

は心拍変動解析の結果としては一般的でなく [19], 異常値であるとみなせる. このような値は, 電波状況が悪く, 正しく RRI の値を受信できなかった場合に生じるものであり, 除外する必要がある.

正しい値のみを得るために, データに対して心拍間隔の補正を行う. まず, 450~1250 を除く値は全て除去する. 次に, 前後の値と 400 以上差がある値の除去と, 150 以上差がある値の除去を, 補正対象の値がなくなるまで交互に行う.

長い間プレミアムハートレートモニターからの信号が途絶えると, 途絶えた間を解析した結果でも, HF 成分・LF/HF 比に異常値が生じることがある. この値についても除去し, 以上により, 誤った値が多いデータであっても, 異常値が出ることなく解析することを可能としている.

## スプライン補間

実軸上の区間  $a \leq x \leq b$  において

$$a = x_0 < x_1 < \dots < x_N = b$$

となる標本点 (sample point)  $x_i (i = 0, 1, \dots, N)$  があり, これらの標本点に対して関数値  $y_i (i = 0, 1, \dots, N)$  が与えられているものとする. このとき,

$$S(x_i) = y_i (i = 0, 1, \dots, N)$$

を満足するスプライン関数  $S(x)$  を元える問題をスプライン補間 (spline interpolation) という (図 4.3.1).

連続ウェーブレット変換は, 時系列として等間隔ごとのデータが無ければ周波数解析を行うことができない. プレミアムハートレートモニターは, RRI データを心臓が拍動するタイミングで発信する. このため, 受信されるデータの時間は等間隔ではない.

周波数解析では, 時間間隔が等間隔でないデータに対して, このスプライン補間が広く使用されるため, 本システムでもこれを利用する.

### 4.3.2 連続ウェーブレット変換による自律神経の状態の取得

図 4.3.3 は, 連続ウェーブレット変換による自律神経の状態の取得の全体像についてである.

[20] を参照し, 0.06Hz~0.15Hz のパワーの総和を LF 成分 (低周波成分), 0.15Hz 以上~0.475Hz のパワーの総和を HF 成分 (高周波成分) とし, ウェーブレット変換を用いて, 1 秒ごとの HF 成分, LF/HF 比を求める. これにより, HF 成分からは副交感神経の賦活度について, LF/HF 比からは交感神経の賦活度についての時間変化を処理する.

連続ウェーブレット変換のプログラムには, [21] に添付されているものを利用した.

### 4.3.3 色彩環境の提示

第 3 章にて提示した作業能率の推定を行い, 表示する色彩を決定し, 色彩環境を提示する.

フィードバックを行うタイミングで, 色彩環境の提示を行う. 色彩が決定された瞬間から, それまでに提示した色からフィードバックする色へと変化させる際には, フェード効果を使用する. フェード効果とは, フレームが徐々に変わることによってある画像が別の画像にスムーズに移行する効果

3.994834	791.992188
7.688833	709.960938
8.181360	699.218750
10.397853	708.007812
11.136719	756.835938
13.353092	809.570312
14.338207	825.195312
15.077093	785.156250
18.278589	799.804688
19.017342	797.851562
22.218856	815.429688
23.203974	817.382812
23.942846	779.296875
26.405473	817.382812
27.390595	823.242188

図 4.2.1: 心拍間隔の時系列データ

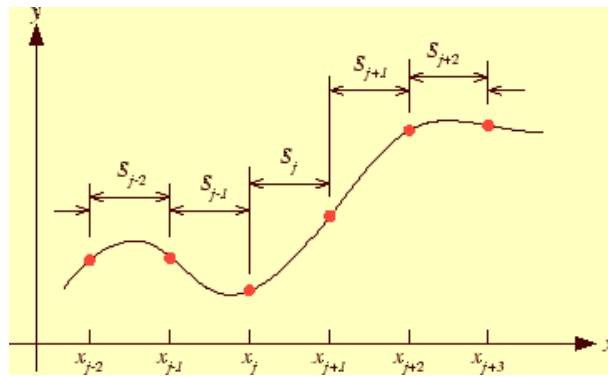


図 4.3.1: スプライン補間

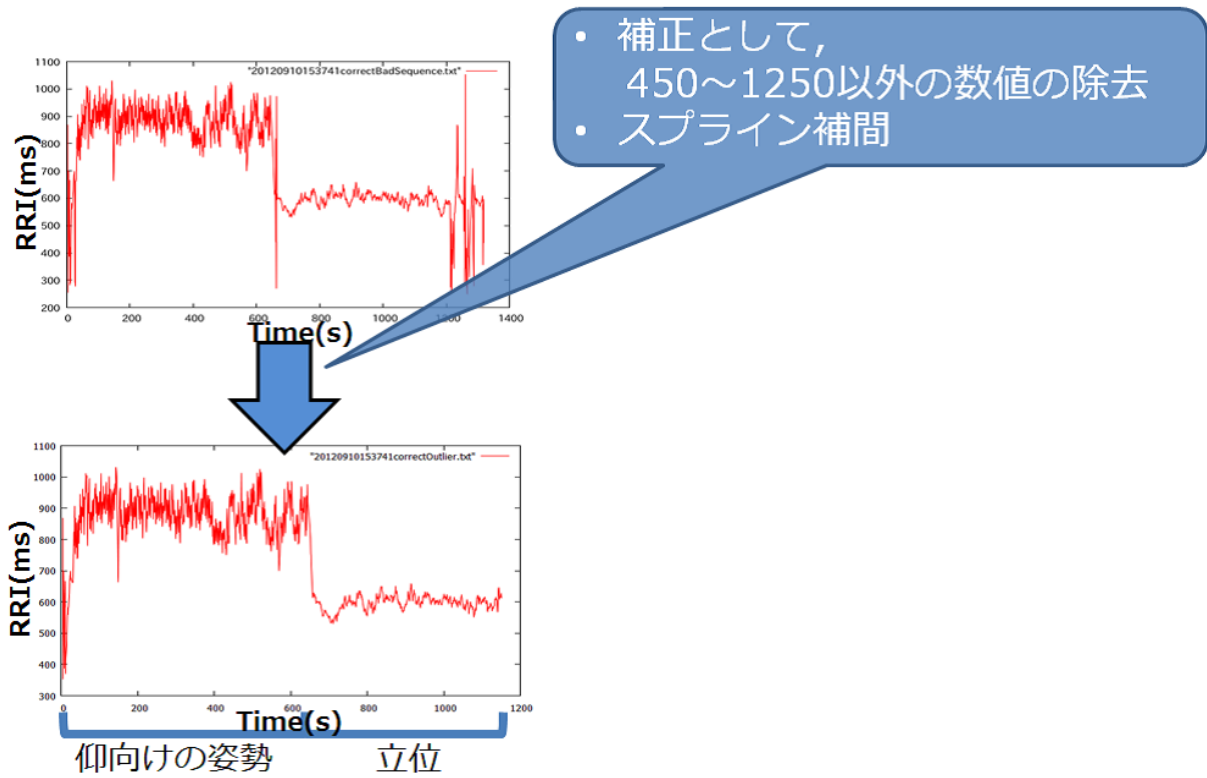


図 4.3.2: 心拍間隔の補正・補間

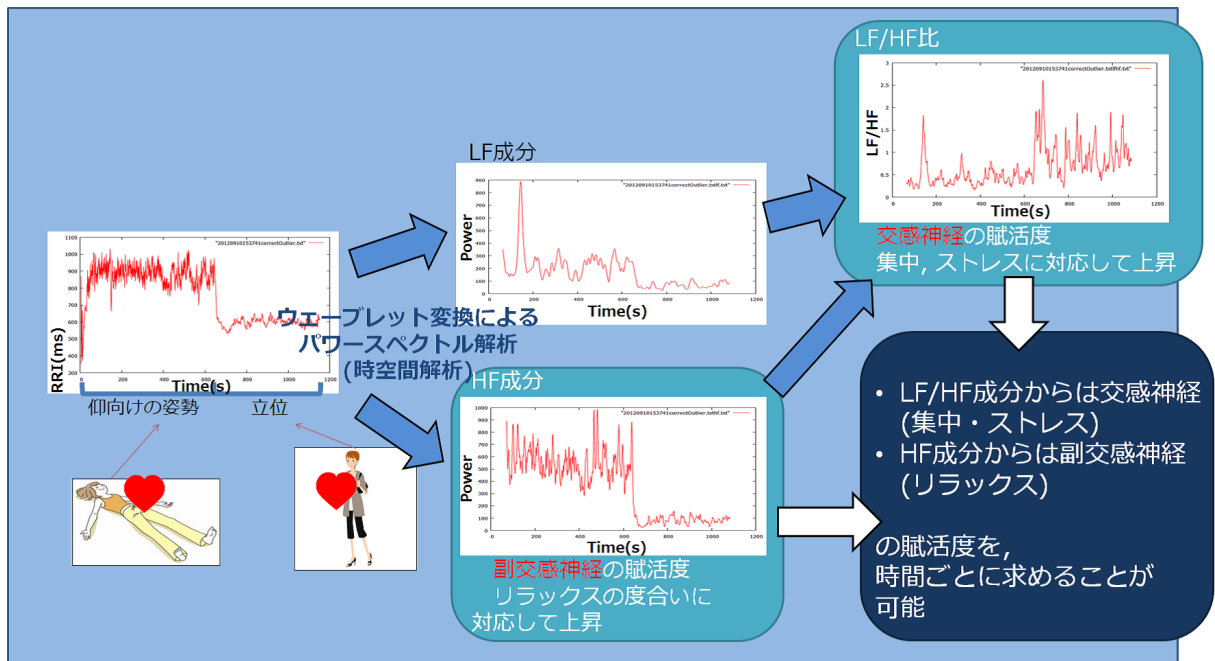


図 4.3.3: 連続ウェーブレット変換による自律神経の状態の取得

を指す。瞬時に色を切り替える手法に比べ、被験者が色彩変化に対して気を散らす程度を防ぐことを目的として使用する。

指定されたテキストファイルに新しく記述された RGB の値に基づいて単色を表示するプログラムを用いる。RGB の値を変化前の色彩から変化後の色彩へに向けて段階ごとに変化させることで、フェード効果を実現する。このプログラムを外部モニターやプロジェクタで稼働させることにより、色彩環境の提示とする。

## 第5章 実験

### 5.1 色彩の作業能率・心拍変動への影響についての検証実験

以下の二つについて検証を行うために、検証実験を行った。

1. 心拍変動に基づいた作業能率の推定
2. 色彩の作業能率・心拍変動への効果

#### 5.1.1 実験概要

20代の健常な男性4人(A, B, C, D)を被験者とし、3回実験を行った。5分間閉眼状態・座位姿勢を保ち心拍を安定させた後に開眼させ、赤、緑、青の三つの色彩環境において、座位姿勢で内田クレペリンテスト(5.1.3節にて説明)を行い、心拍間隔と成績を測定した。クレペリンテストは15分間実施し、開眼状態で5分間休憩し、また15分間実施し、最後に5分間安静をとる。作業中の1分ごとの回答数・HF成分・LF/HF成分を算出し、作業中における各値の1分ごとの時間変化を求めた。また、回答数と、HF成分・LF/HF成分との間の相関係数を求めた。

#### 5.1.2 色彩環境の構築

実験風景を、図5.1.4に示す。

内部が白色で統一された暗室を作成し、内部にプロジェクタを設置することで、色彩環境を実現した(図5.1.1)。外側を暗幕で覆った暗室で周囲の光を遮断し、内部を白いパネルを設置することでプロジェクタで照射された単色で利用者の視界が覆われるようにした(図5.1.3)。

実験色として、赤、緑、青の3色を選択し、色彩環境として、暗室内でのプロジェクタに投影する色と、答案用紙に適用した。

赤、緑、青については、光の三原色であることをもとに採用した。照射する各色は、コンピュータでWebセーフカラーのうちHTML3.2で色名が定義されている、Red(FF0000)、Green(008000)、Blue(0000FF)の3色を作成した。答案用紙には、実験色3色に対応したコピー用紙を使用した(図5.1.2)。

#### 5.1.3 内田クレペリンテスト

作業能率を時間経過と共に数値化する手段として、内田クレペリンテストを使用する。このテストは、1~9までの数を並べ、隣同士の数を演算する計算を1分毎に行うものであり、作業者の作業能率の時間変移をみる手段として広く使われている。

15分間の実験を2回、休憩を5分はさみ行う。正答数は、作業能率の数値化となるため、これを評価に利用する。

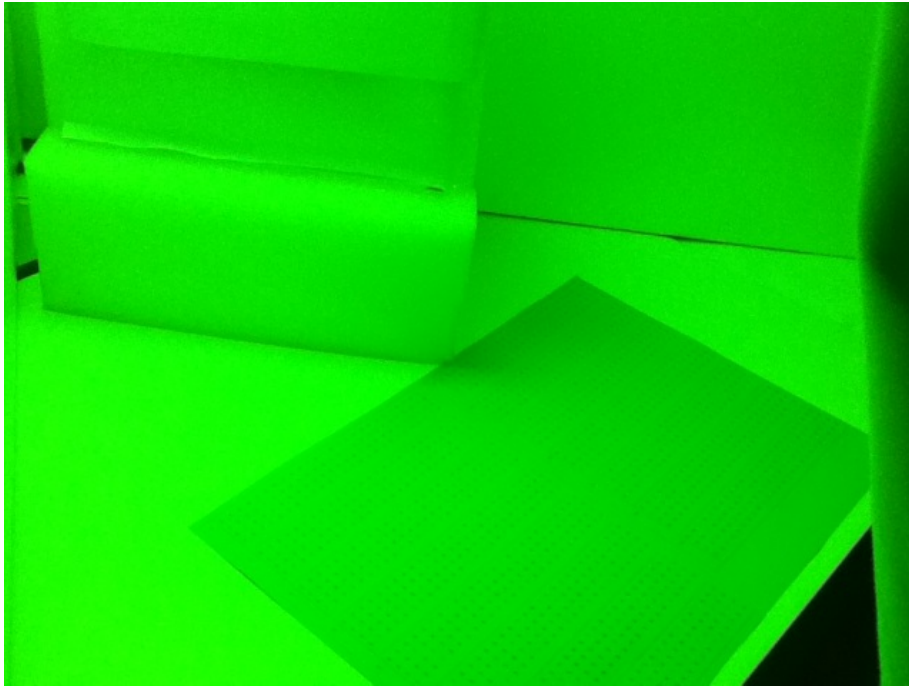


図 5.1.1: 色彩環境内部

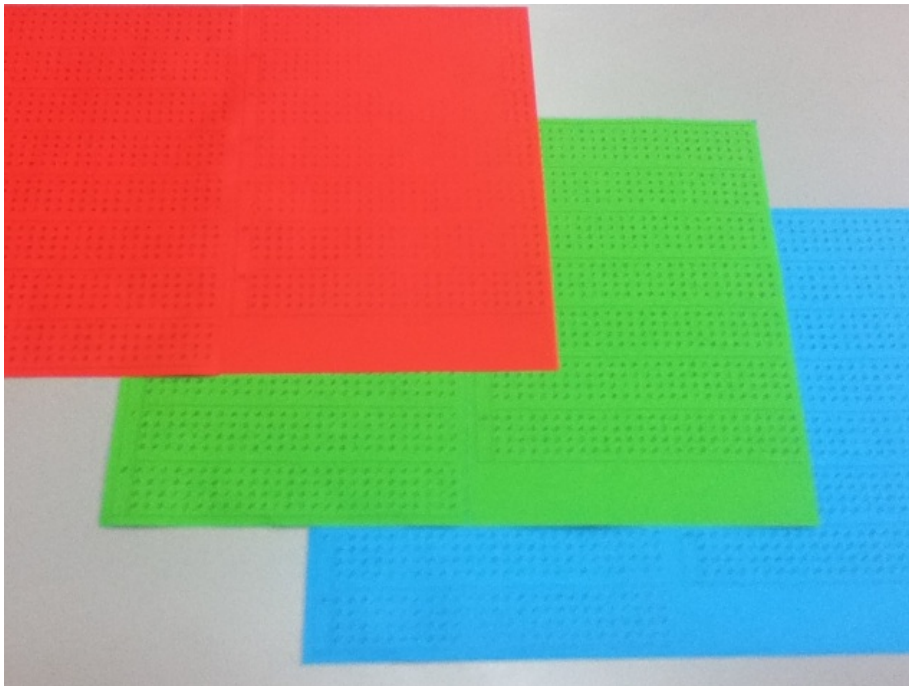


図 5.1.2: クレペリン検査の実験用紙





图 5.1.3: 色彩環境外部

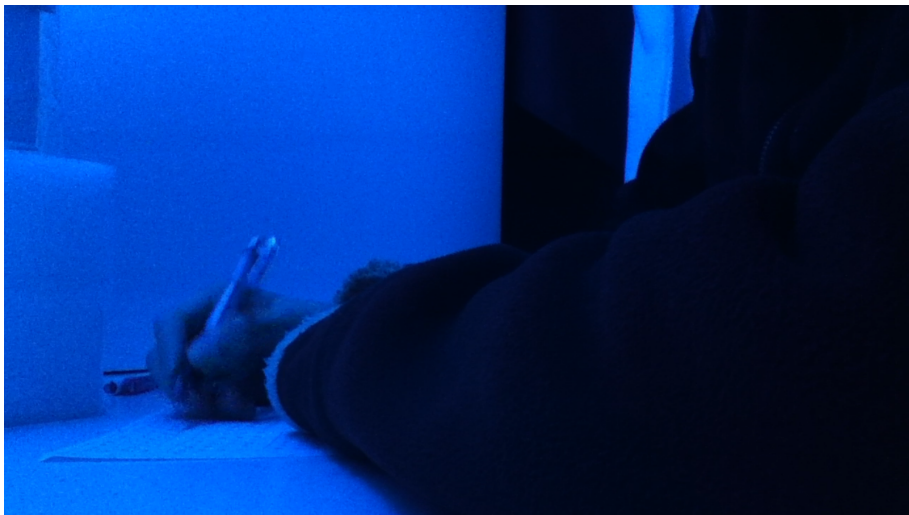


图 5.1.4: 實驗風景

#### 5.1.4 結果・考察

##### 色彩と心拍変動, 作業能率との相関

色彩と HF 成分・LF/HF 比, 色彩と作業能率について, 相関係数を求めた結果を表 5.1 に示す. 実験中の 1 分毎のデータについて, 下記のように表記している. 実験中の 1 分毎のデータについて, 下記の相関を求めた.

- HF-AA : HF 成分と回答数
- HF-P : HF 成分と正答率
- LFHF-AA : LF/HF 比と回答数
- LFHF-P : LF/HF 比と正答率

各結果について, 有意水準が 0.10 を超えるもの (0.306057 より大きい値) は相関があると判断できる. このような結果が散見されたが, 色ごとの全体としての相関, 被験者それぞれについての色ごとの相関, どちらに着眼しても, 一定の相関を見ることはできなかった.

##### 心拍変動と作業能率との相関

実験の結果について, 各被験者, 各色彩環境においての HF 成分, LF/HF 比, 回答数, 正答率を算出しグラフ化し, 回帰曲線を記した. 左から右に, 実験第 01 回目, 実験第 02 回目, 実験第 03 回目と並んでおり, 上から順に HF 成分, LF/HF 比, 回答数, 正答率と並んでいる. 青い点はデータのプロットであり, 直線は回帰直線である. 以下, 下降・上昇は, 回帰曲線の傾きの正負により示すものとする. 以下に, 作業能率の推定に有効であると判断できるデータを示す. 全ての結果においての数値データについては付録に記す.

作業中には, 作業前に比べて LF/HF は上昇する. この通りに, クレペリン検査によるストレス負荷により, LF/HF は上昇し, 作業能率も時間とともに上昇している結果が大多数を占めた. 作業中に集中している状況として, 一般的である結果である.

例外は, 以下の 3 パターンが見受けられた.

1. LF/HF 比の上昇に伴い, 作業能率が下降する
  - 被験者 B-緑-第 01 回目 (図 5.1.8)
2. LF/HF 比の下降に伴い, 作業能率が上昇する
  - 被験者 A-赤-実験第 03 回目 (図 5.1.5)
  - 被験者 A-緑-実験第 03 回目 (図 5.1.6)
  - 被験者 B-緑-実験第 02 回目 (図 5.1.8)
  - 被験者 C-緑-実験第 03 回目 (図 5.1.10)
3. HF 成分の上昇に伴い, 作業能率が低下する

- 被験者 B-赤-実験第 03 回目 (図 5.1.7)
- 被験者 B-緑-実験第 02 回目 (図 5.1.8)
- 被験者 B-青-実験第 03 回目 (図 5.1.9)
- 被験者 D-青-実験第 03 回目 (図 5.1.11)

パターン 1 については、縦軸に着目すると、上昇した先の値が他のグラフの値よりもたかいことが分かる。これは、被験者のストレスが過剰であったために、作業能率が低下したと考えられる。

パターン 2 についても、縦軸に着目すると実験開始時の値が他のデータよりも高いことが分かる。ストレスが過剰な状態から低下したために、交感神経がストレスから開放され集中することができ、作業能率が向上していると考えられる。

パターン 3 については、HF 成分の上昇は副交感神経の賦活を示すため、交換神経が緊張し集中力の上がる状態と逆の状態に近づいていることを示し、作業能率が下降しているのだと考えられる。

パターン 1・パターン 2 については、人間は、集中している状態では LF/HF 比は上昇するため、作業に集中して取り組んでいる際には LF/HF 比は上昇する傾向がある [13]。また、緊急時のストレス負荷が高い状態で、作業者の「やる気」が主観的に高い際に、LF/HF 比は高い数値を示すとされる [10]。しかし、過度のストレスは作業能率を低下させるため、作業中には高すぎない状態であることが作業中には望ましい。このため、LF/HF 比が過度に高い場合には、ユーザの作業能率が落ちているものと考察できる。

パターン 3 については、HF 成分は、ストレスの自覚反応の中で、エネルギー覚醒や緊張覚醒などの気分を反映し、ストレステスト時には低下することが示されている [13]。また、作業終了後の回復期にリラックスを反映し、上昇することが示されている。このため、ユーザが過度のストレス状態でない場合における HF 成分の上昇は、作業中にユーザが必要以上にリラックスしていることとなる。このため、LF/HF 比がある閾値より低く、かつ HF 成分が上昇している場合には、作業中は課題に集中していないと判断できる。

以上から、作業能率が心拍変動を反映しており、心拍変動から作業能率を推測できる可能性がある。

## 5.2 心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システムの評価実験

第4章にて述べた提案システムについて、色彩環境以外は検証実験と同様の条件下にて実験を行い、評価を行った。

### 5.2.1 実験概要

20代の健常な男性4人(A, B, C, D)を被験者とし、3回実験を行った。被験者は、全員検証実験と同じ人物である。5分間閉眼状態・座位姿勢を保ち心拍を安定させた後に開眼させ、フィードバックシステムにより動的に変化する色彩環境において、座位姿勢で内田クレペリンテストを行い、RRIと成績を測定した。クレペリンテストは15分間実施し、開眼状態で5分間休憩し、また15分間実施し、最後に5分間安静をとる。作業中の1分ごとの回答数・HF成分・LF/HF成分を算出し、作業中における各値の1分ごとの時間変化を求めた。また、回答数と、HF成分・LF/HF成分との間の相関係数を求めた。

フィードバックシステムで提示する色は、検証実験と同じ赤・緑・青とする。各被験者が、検証実験での実験中の所感に基づき、作業中における「落ち着く色彩環境」、「やる気の出る色彩環境」、「集中しているときの色彩環境」に赤・緑・青を1色ずつ割り当てる。このようにして被験者ごとの嗜好をフィードバックシステムに適用することで、作業者の嗜好に合わせて色彩が変化していくようにした。

### 5.2.2 心拍変動フィードバックによる動的な色彩環境の構築

検証実験の色彩環境を使用し、プロジェクタに提案システムを適用することで、心拍変動フィードバックに基づいて動的に色彩が変わる環境を作り出す。

クレペリンテストは、1分ごとに計算する段組をきりかえる。フィードバックシステムはフェード効果により15秒間で色を変化させ、きりかえ15秒前に状況推定と色彩環境の変化を開始し、計算の段組のきりかえ時には色が変わりきっているようにした。

状況推定に使用するRRIのデータは、きりかえ15秒前の時点から、180秒前までさかのぼったデータを使用する。データの時間間隔を狭くすることで、よりきりかえ時の状態に即したフィードバックを行うことが目的である。

### 5.2.3 結果・考察

各被験者の嗜好について、図5.2、図5.3、図5.4、図5.5に示す。

また、実験の結果について、図5.3.1、図5.3.2、図5.3.3、図5.3.4に示す。縦軸1, 2, 3は、それぞれ被験者にとっての落ち着きたいときに見たい色、やる気を出したいときに見たい色、それ以外の色を指す。

全体として、大きく作業能率が下降した結果はなかった。単色の色彩環境下で行った検証実験においては、このような結果は複数見受けられた。作業能率の回帰直線の傾きが負になっているデータを作業能率が低下したとみなし、数値的に比較しても、検証実験の際は78パーセントの割合で作業能率が上昇したが、評価実験では84パーセントであったため、ユーザの作業能率が安定して上昇したことになる。

User	Color	Term	HF-AA	HF-P	LFHF-AA	LFHF-P
A	Red	1	<b>-0.385475962</b>	-0.385238807	0.161168764	0.216559058
A	Red	2	-0.018677741	0.194569959	-0.233049741	-0.069815601
A	Red	3	-0.411443571	-0.035489357	0.035308996	-0.031750183
A	Green	1	0.109786793	0.122454348	-0.040184158	0.078892248
A	Green	2	-0.074356613	0.290634574	-0.171528014	-0.40006332
A	Green	3	-0.155410522	0.183680511	-0.022435471	0.056784396
A	Blue	1	-0.322160267	0.100550919	0.202840164	-0.015701467
A	Blue	2	0.412750627	-0.013330172	-0.305189455	0.256613321
A	Blue	3	-0.385148424	-0.218081261	0.03888395	0.112774855
B	Red	1	0.011339827	0.044485107	-0.102767386	0.195199851
B	Red	2	0.022978283	-0.027270768	-0.035784291	0.146834138
B	Red	3	0.025505901	0.241830432	0.148242065	0.259164471
B	Green	1	-0.050893438	0.326606089	-0.270045148	-0.04468261
B	Green	2	-0.256175335	-0.117207574	0.076717627	-0.141651253
B	Green	3	0.013713119	0.192209548	-0.21895653	-0.145599768
B	Blue	1	-0.070907663	-0.035608532	-0.072590749	-0.238644411
B	Blue	2	-0.189433647	0.109986019	0.101810322	0.072234956
B	Blue	3	-0.277985444	0.06072157	0.129825337	-0.135707817
C	Red	1	-0.035564433	0.088941934	-0.276798894	-0.125755004
C	Red	2	-0.06064397	NaN	0.018484156	NaN
C	Red	3	-0.182226811	0.216965279	-0.407755981	-0.176380829
C	Green	1	-0.304465777	0.019819199	0.012535154	-0.442952737
C	Green	2	0.050573168	0.391128837	0.002085355	0.094637782
C	Green	3	0.080602242	-0.047260453	-0.261768909	-0.005716256
C	Blue	1	-0.193820691	-0.056106716	0.317754141	0.002736957
C	Blue	2	-0.329901207	0.254259364	0.078495304	-0.077933726
C	Blue	3	-0.273289048	0.206096692	0.163912285	-0.102329176
D	Red	1	0.291400823	-0.059375129	-0.025639074	0.397307095
D	Red	2	-0.015093022	0.001867384	-0.196135226	0.043710647
D	Red	3	0.226077156	NaN	0.048034165	NaN
D	Green	1	0.044248935	-0.251191689	0.042177907	0.034396172
D	Green	2	-0.006821306	0.087652208	0.039685268	0.052919984
D	Green	3	-0.257288933	-0.167008054	0.42486996	0.050843672
D	Blue	1	-0.39531362	-0.216927671	0.326600815	-0.060910482
D	Blue	2	-0.073199528	-0.140364686	0.105419266	-0.14451252
D	Blue	3	-0.798272676	-0.494375389	-0.085284007	-0.025072418

表 5.1: 検証実験における各色彩環境においての心拍変動と作業能率との相関係数 (NaN は、計算不可能であったデータを示す)

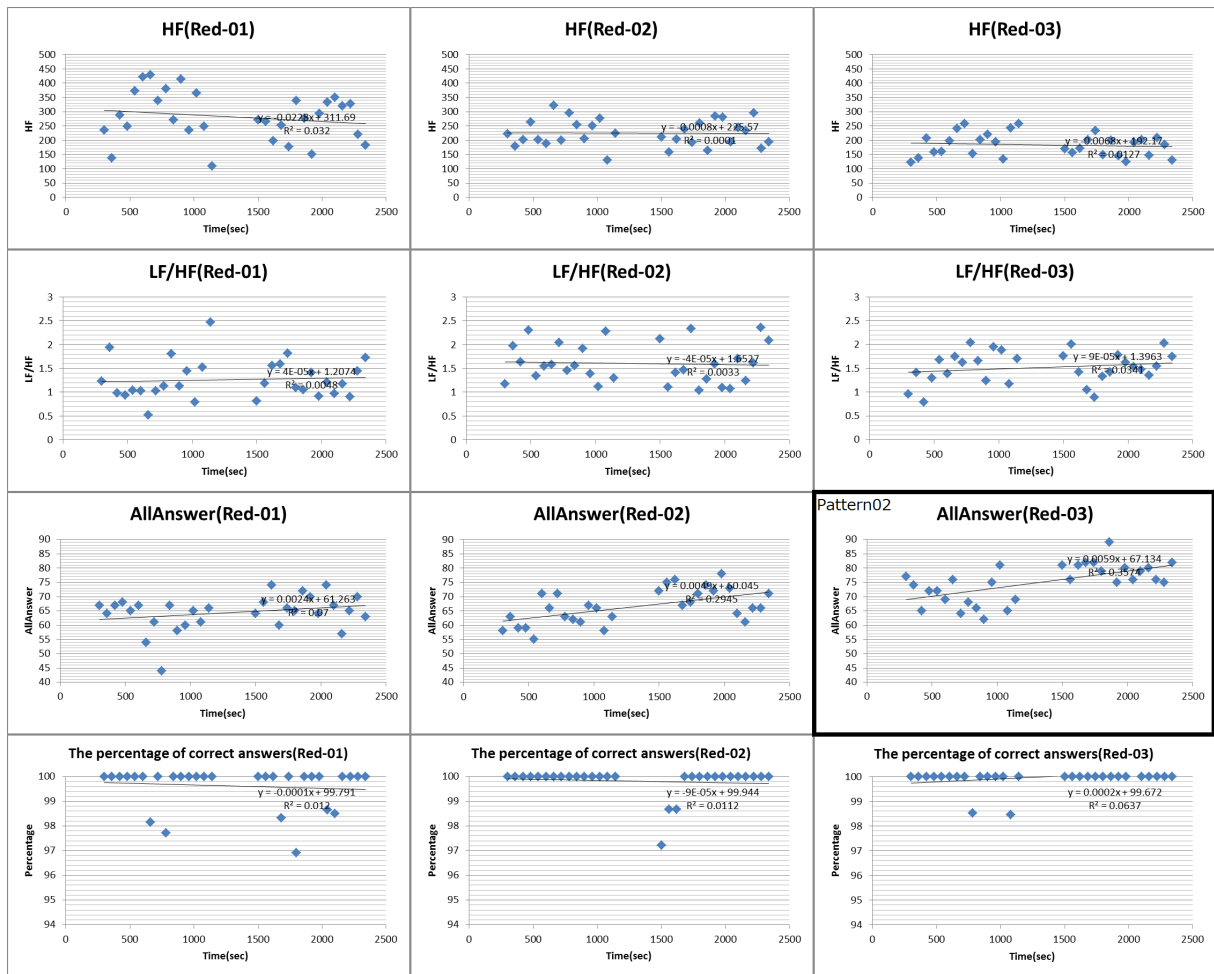


図 5.1.5: 被験者 A の赤についての検証結果

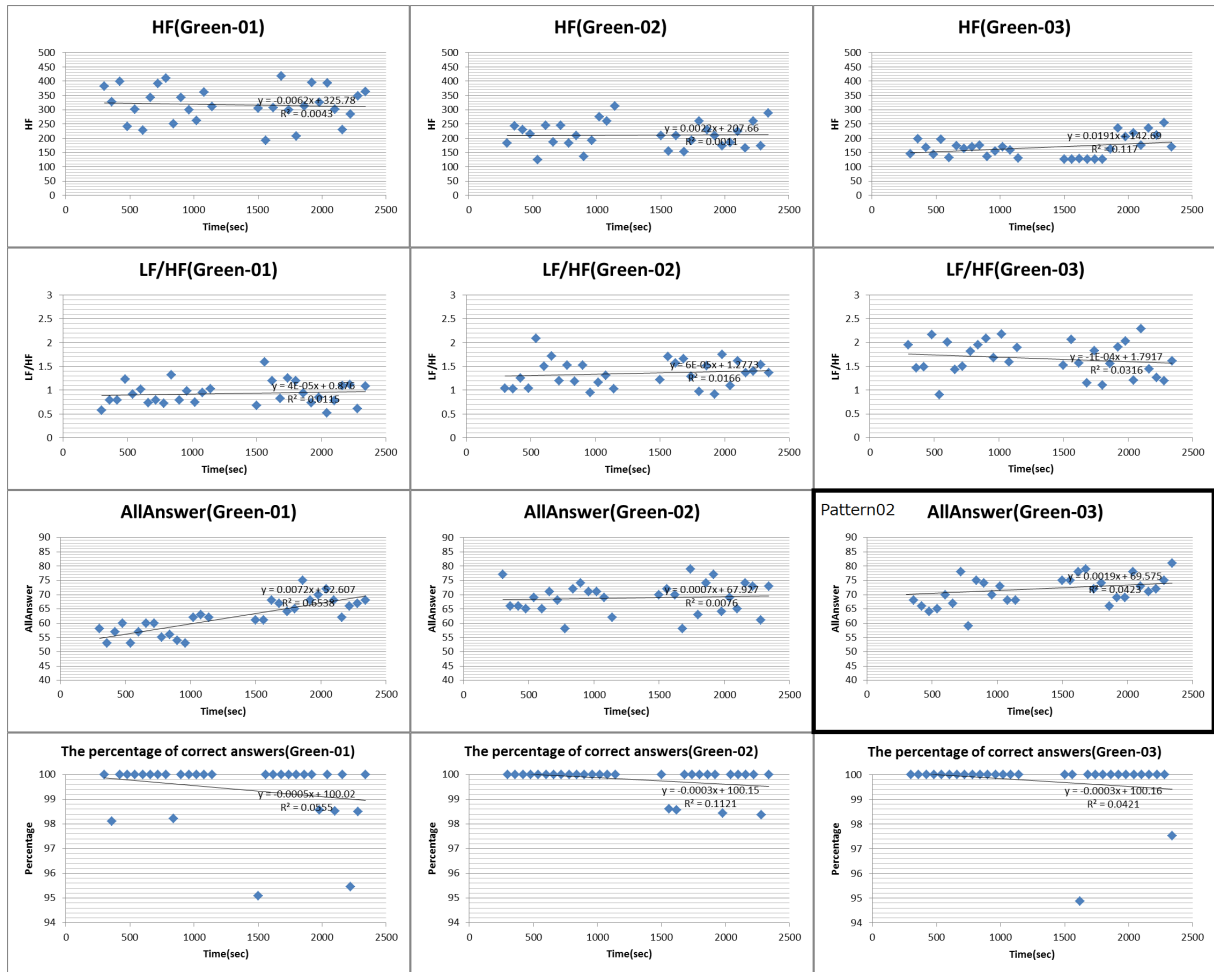


図 5.1.6: 被験者 A の緑についての検証結果

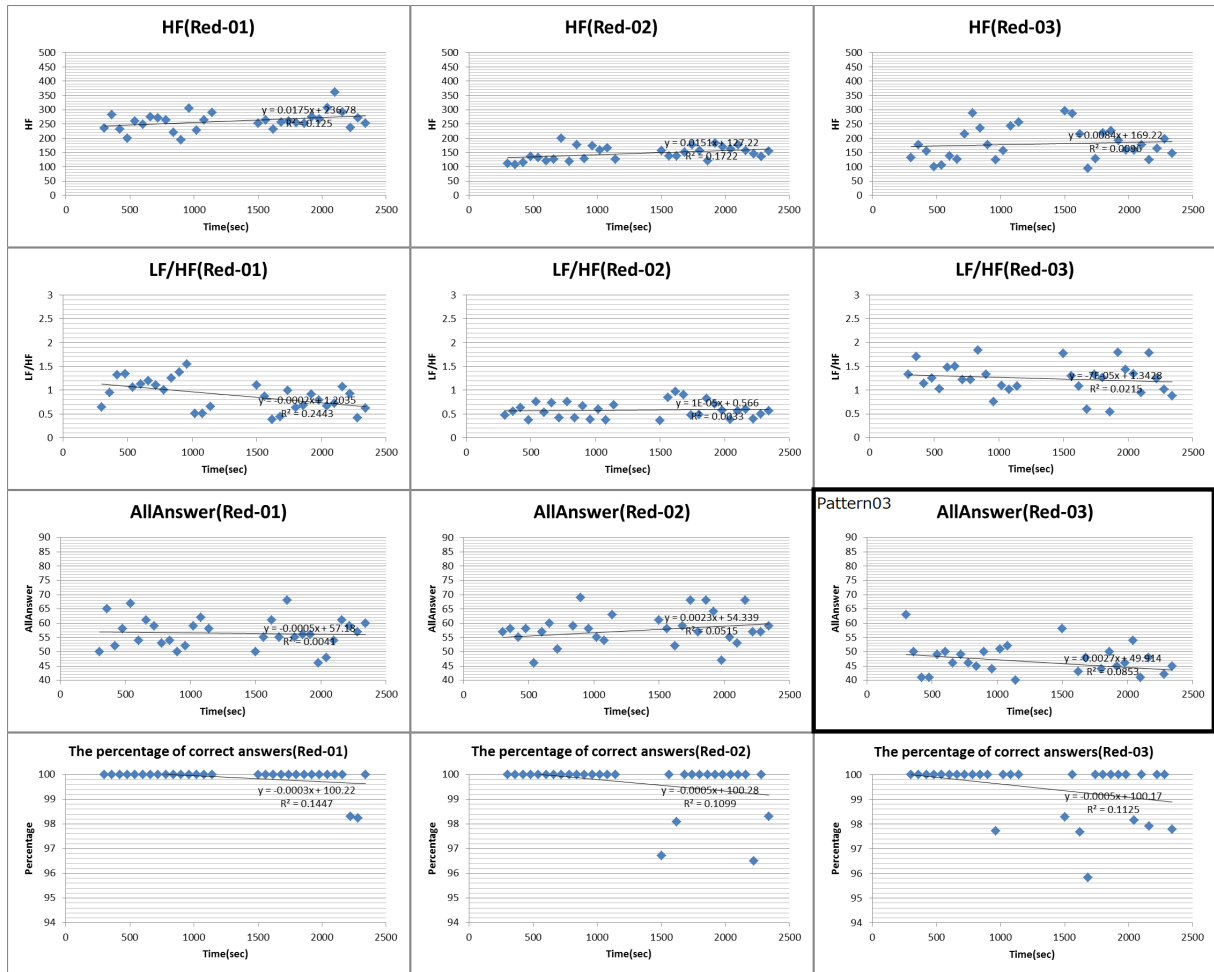


図 5.1.7: 被験者 B の赤についての検証結果



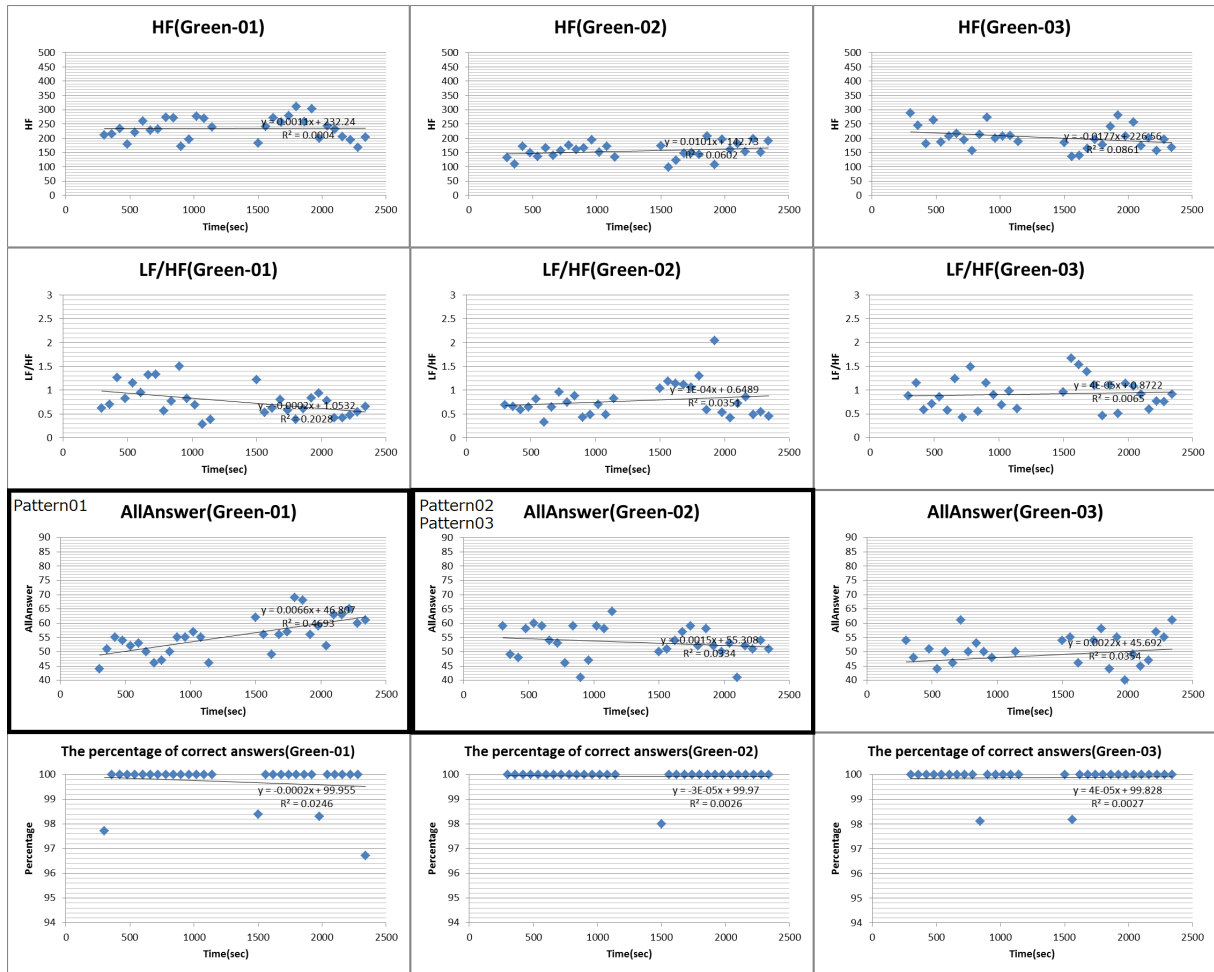


図 5.1.8: 被験者 B の緑についての検証結果

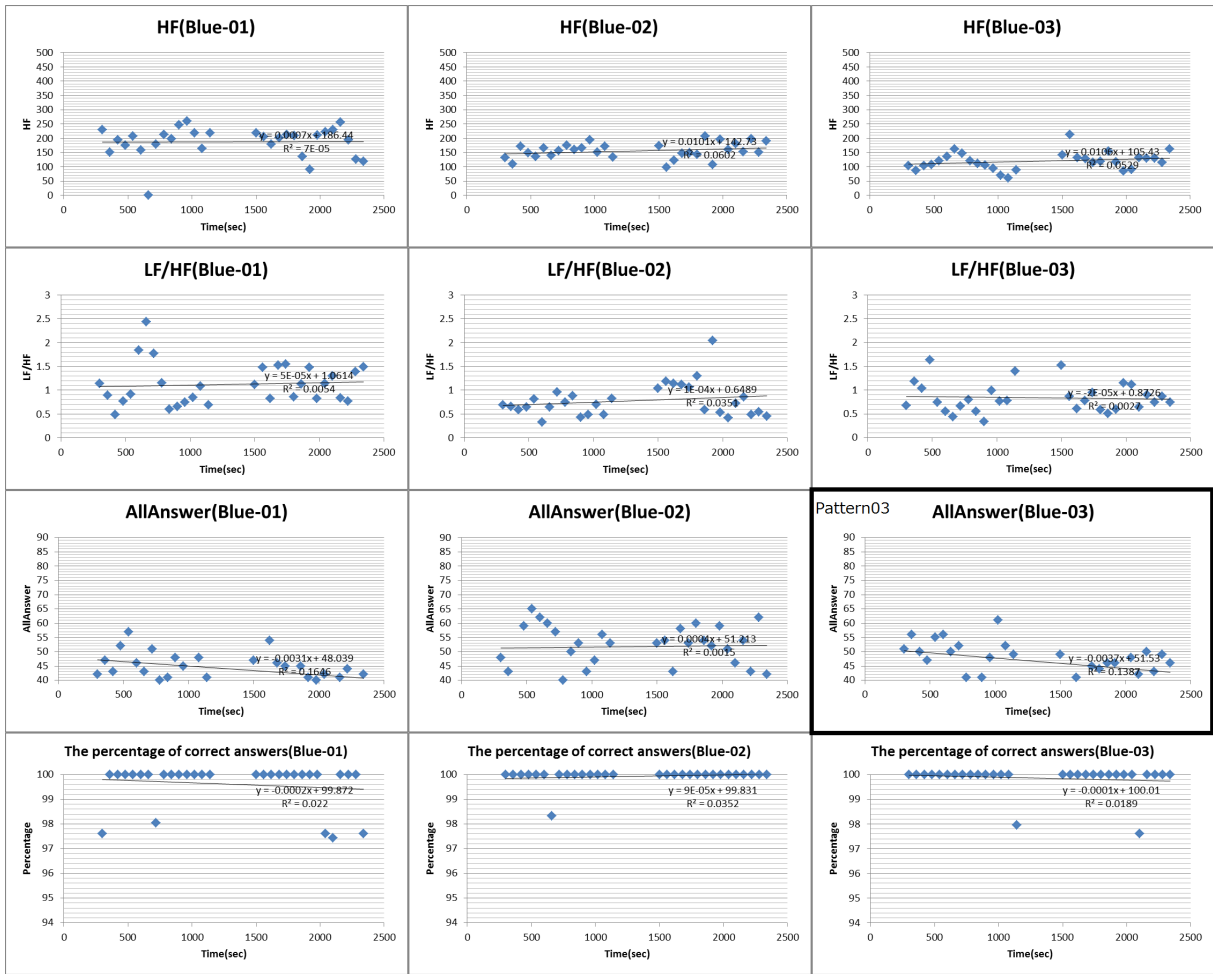


図 5.1.9: 被験者 B の青についての検証結果

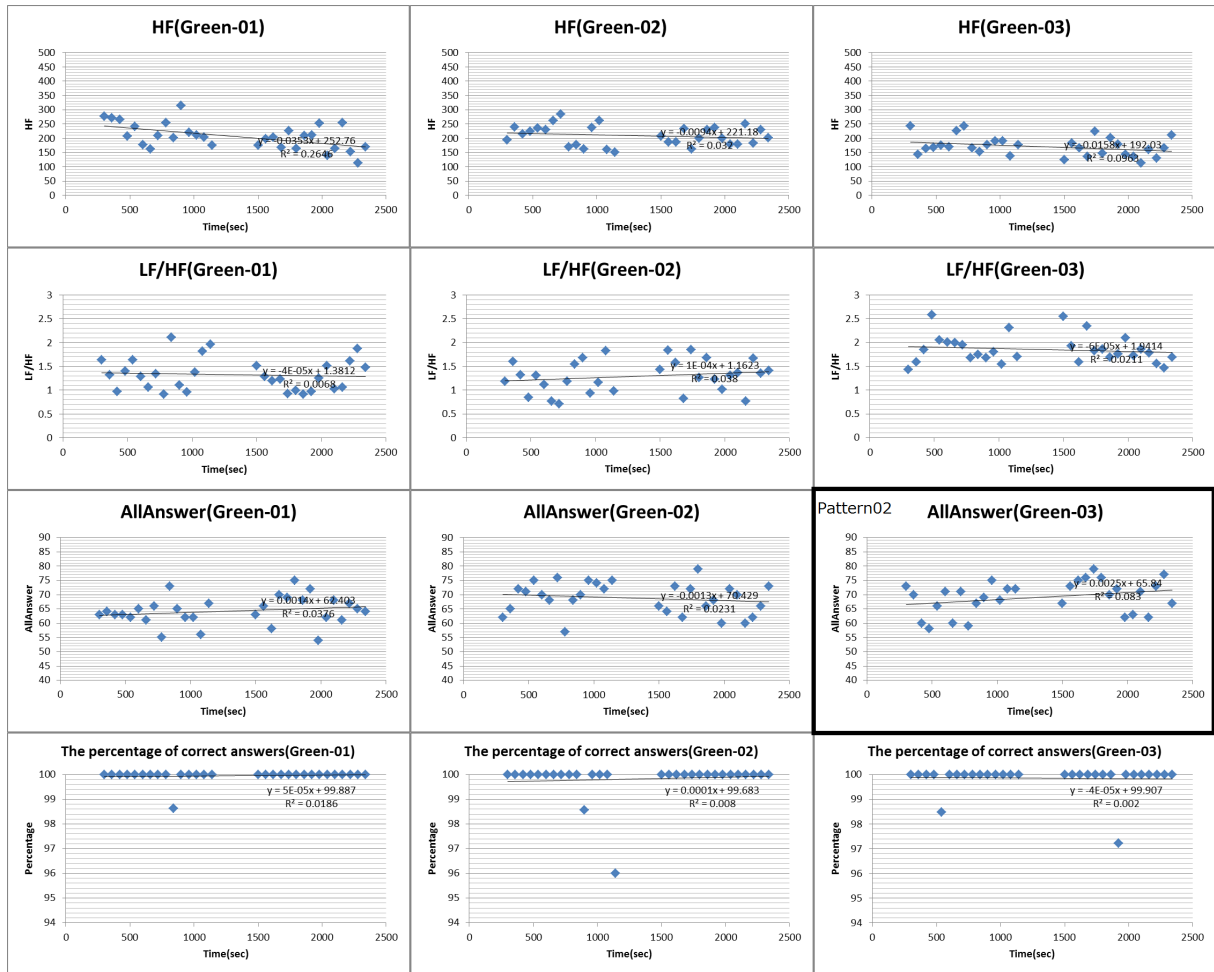


図 5.1.10: 被験者 C の緑についての検証結果

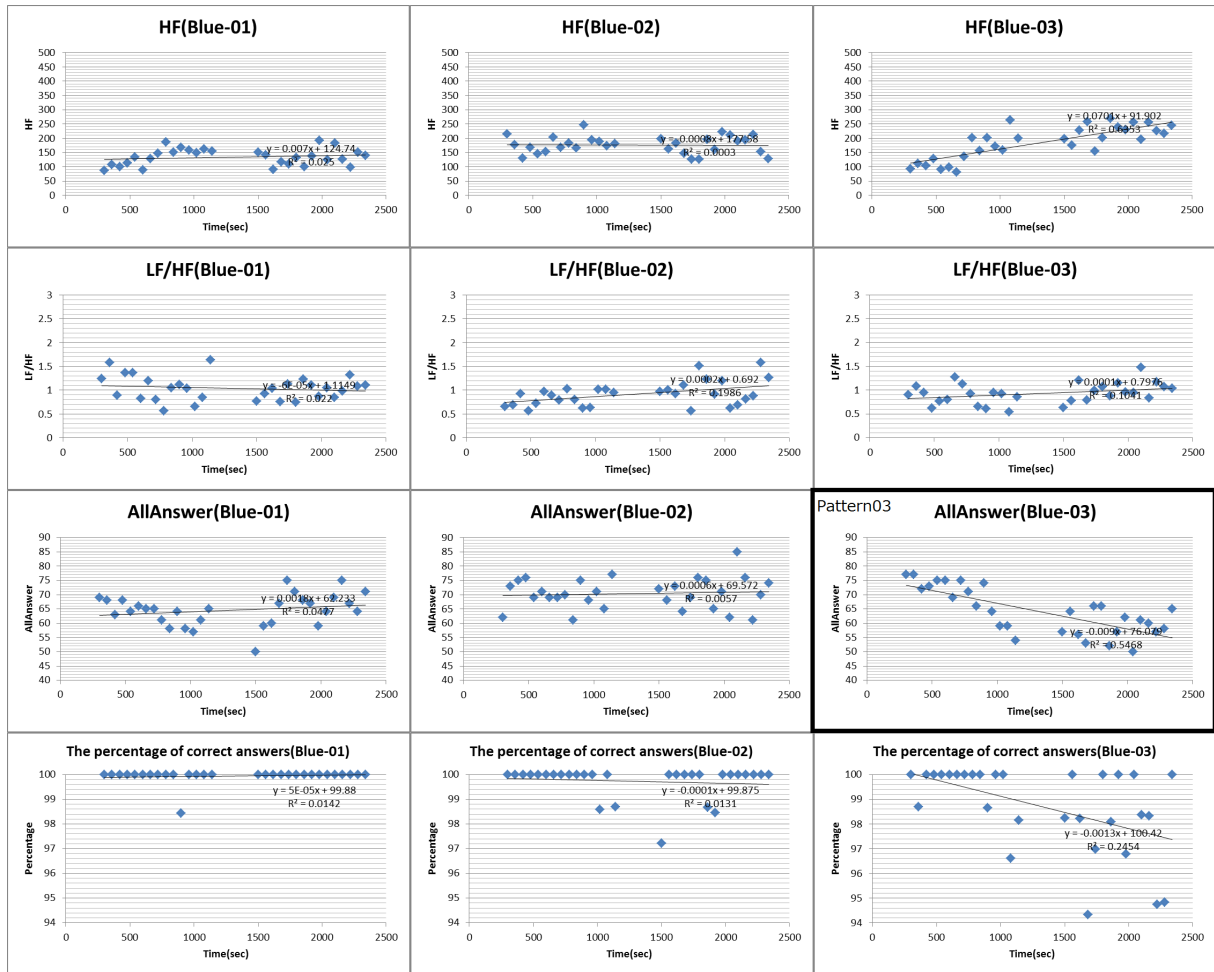


図 5.1.11: 被験者 D の青についての検証結果

フィードバックの影響については、被験者にとってのやる気を出したい時の色が提示されてから一分間の回答数は、直前の一分間に比べて作業能率が上昇している例がほとんどであった。各グラフにおいて、緑で囲い示した。落ち着きたいときの色は、提示された機会そのものが少ないが、提示前と提示時の作業能率の違いについては、全体としても個人としても見受けられない。集中したいときの色については、提示回数は多かったが、提示前と提示時の違いについては、全体としても個人としても見受けられなかった。

被験者の感想としては、以下のものがあつた。

- 色が変わる瞬間が気になった
- 検証実験のときに比べ目がつかれた
- やる気をだしたい時の色を提示されたときに鼓舞され、やる気をだそうという気になった
- フェード効果が終わり色彩環境が一定となると作業が快適に感じた
- やる気の無い自分への気づきがあつた、

### 5.3 議論

評価実験においては、作業能率が大きく下降した結果は無かつた。作業能率の回帰直線の傾きが負になっているデータを作業能率が低下したとみなし、数値的に比較しても、検証実験の際は作業能率が上昇した割合は 78 パーセントであつたが、評価実験では 82 パーセントであつた。検証実験に比べ、作業能率としては好成績を残したといえる。

HF 成分・LF/HF 比に対しては、特に影響を受けたとはいえない。

嗜好に合わせて色彩を提示したことについては、全体の被験者を通して、「やる気を出したいときの色」による色彩環境を提示した際に作業能率が向上した結果が多数あつた。他の色については特に強い相関が見られなかつた。「落ち着きたい色」「集中したいときの色」については、提示された回数そのものが少なく、LF/HF 比の「ストレスが過剰である」と判断する際の閾値について、見直しが必要である可能性がある

色彩が動的に変わることについては、色が見える瞬間が気になった、という声が散見されたが、結果として作業能率は動的に色彩環境を変更した際に比べて上昇している。これは、クレペリンテストが機械的な作業であるため、漫然と作業してしまうことに対して効果がある可能性がある。

	第 1 回目	第 2 回目	第 3 回目	colorNumber
落ち着きたい	green	green	green	1
やる気を出したい	blue	red	red	2
その他	red	blue	blue	3

表 5.2: 被験者 A の色の嗜好

	第 1 回目	第 2 回目	第 3 回目	colorNumber
落ち着きたい	green	green	green	1
やる気を出したい	red	red	red	2
その他	blue	blue	blue	3

表 5.3: 被験者 B の色の嗜好

	実験 1 回目	実験 2 回目	実験 3 回目	colorNumber
落ち着きたい	blue	blue	blue	1
やる気を出したい	red	red	red	2
その他	green	green	green	3

表 5.4: 被験者 C の色の嗜好

	実験 1 回目	実験 2 回目	実験 3 回目	colorNumber
落ち着きたい	blue	blue	blue	1
やる気を出したい	red	red	red	2
その他	green	green	green	3

表 5.5: 被験者 D の色の嗜好

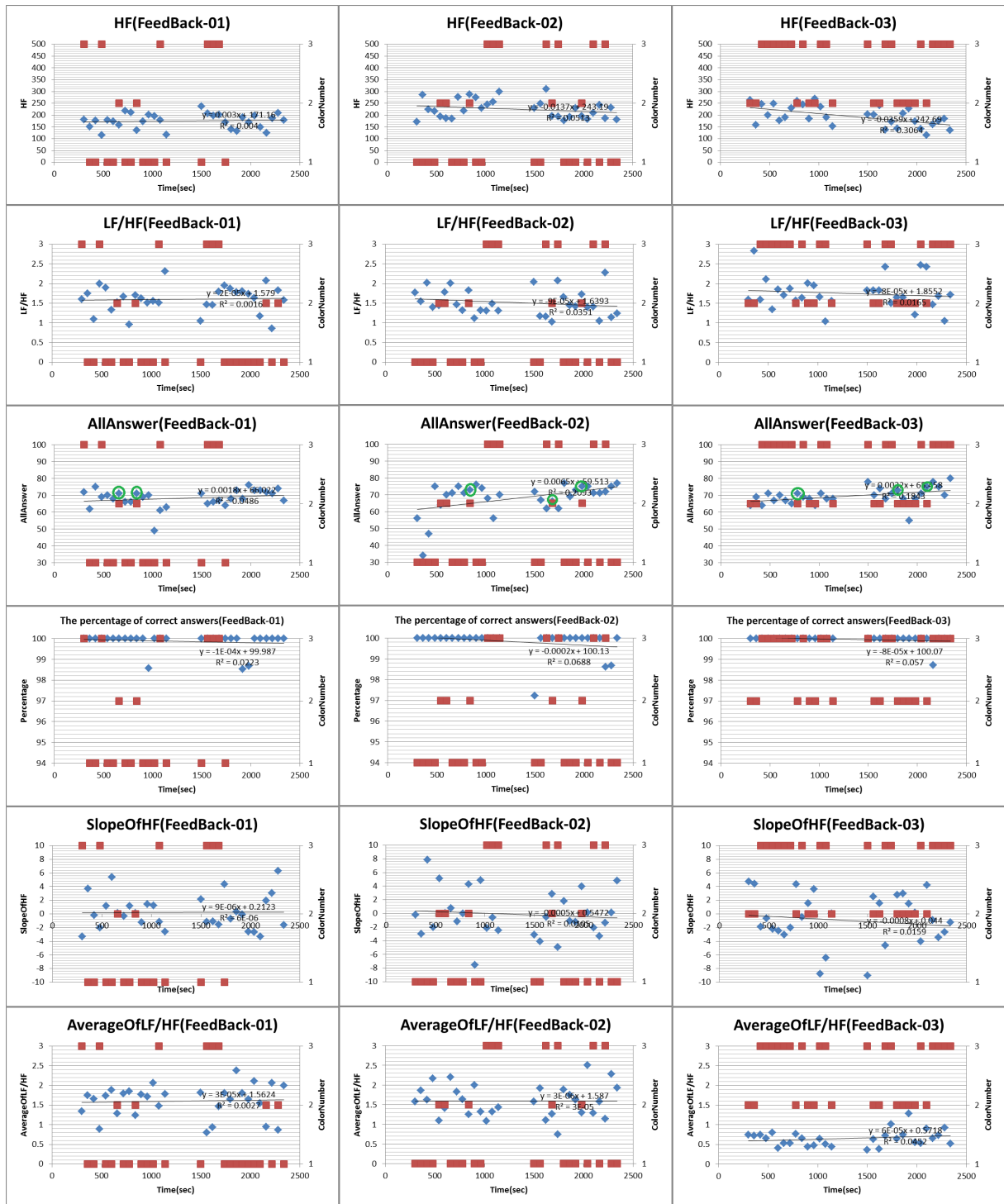


図 5.3.1: 被験者 A の評価実験についての結果

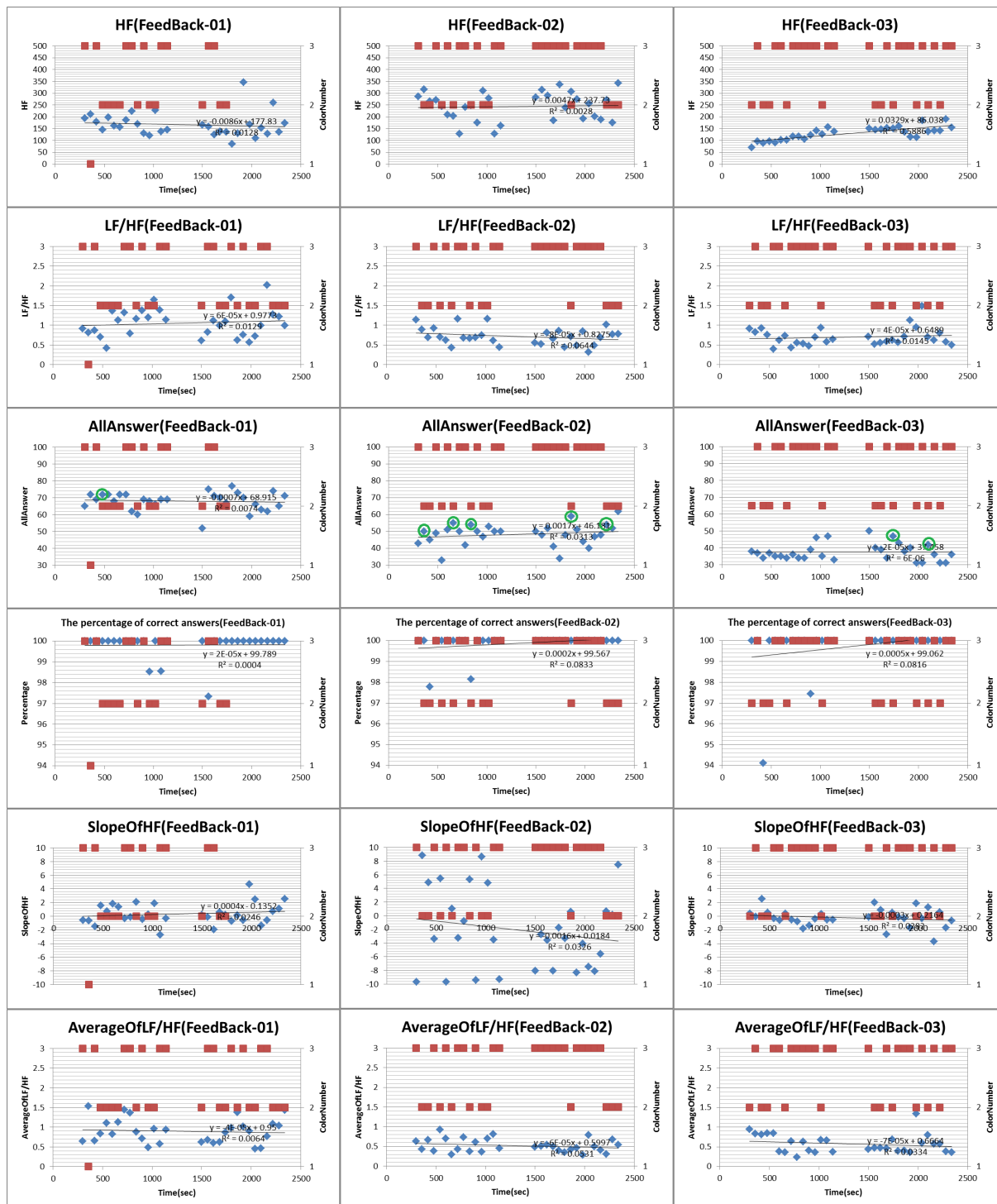


図 5.3.2: 被験者 B の評価実験についての結果



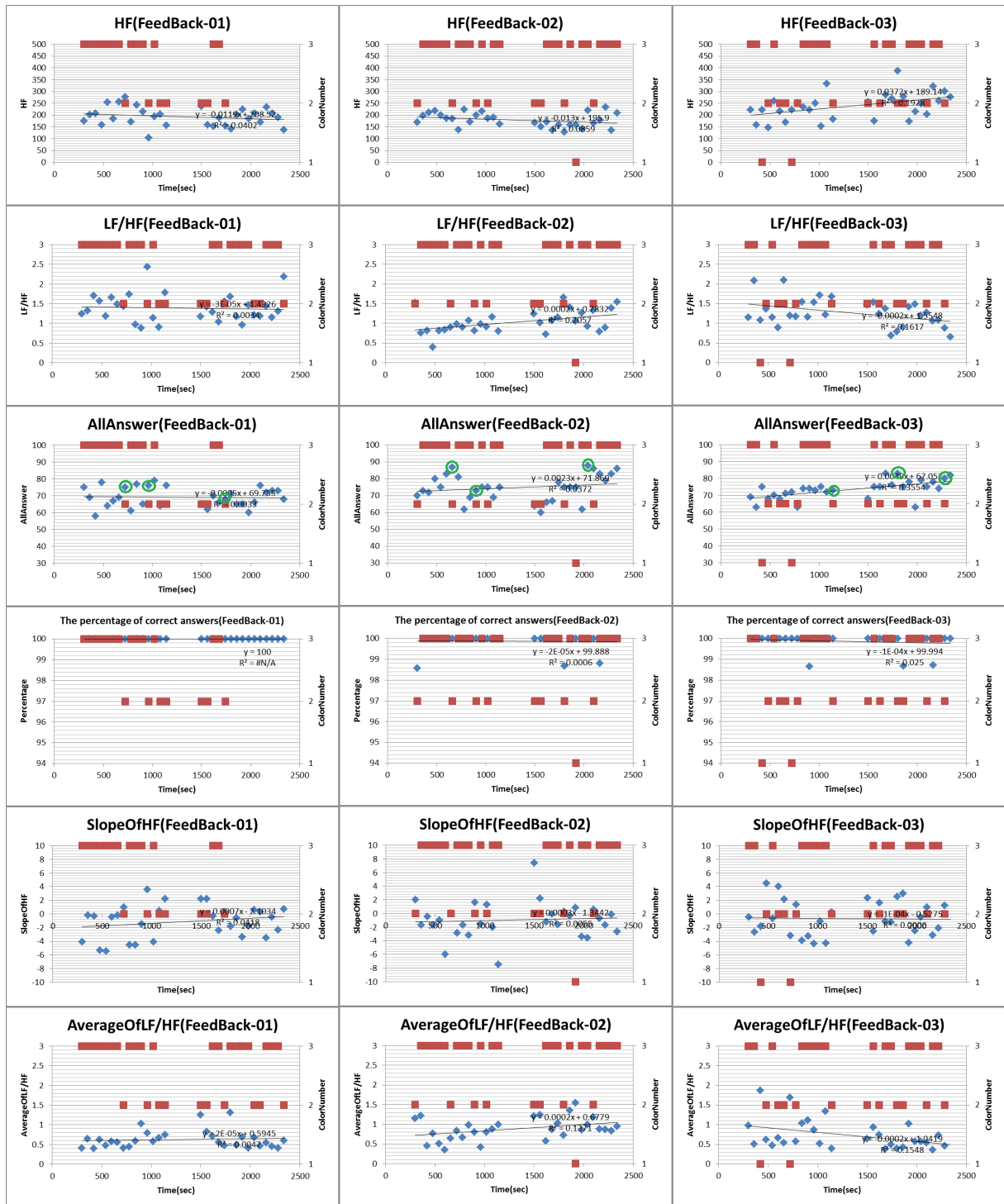


図 5.3.3: 被験者 C の評価実験についての結果

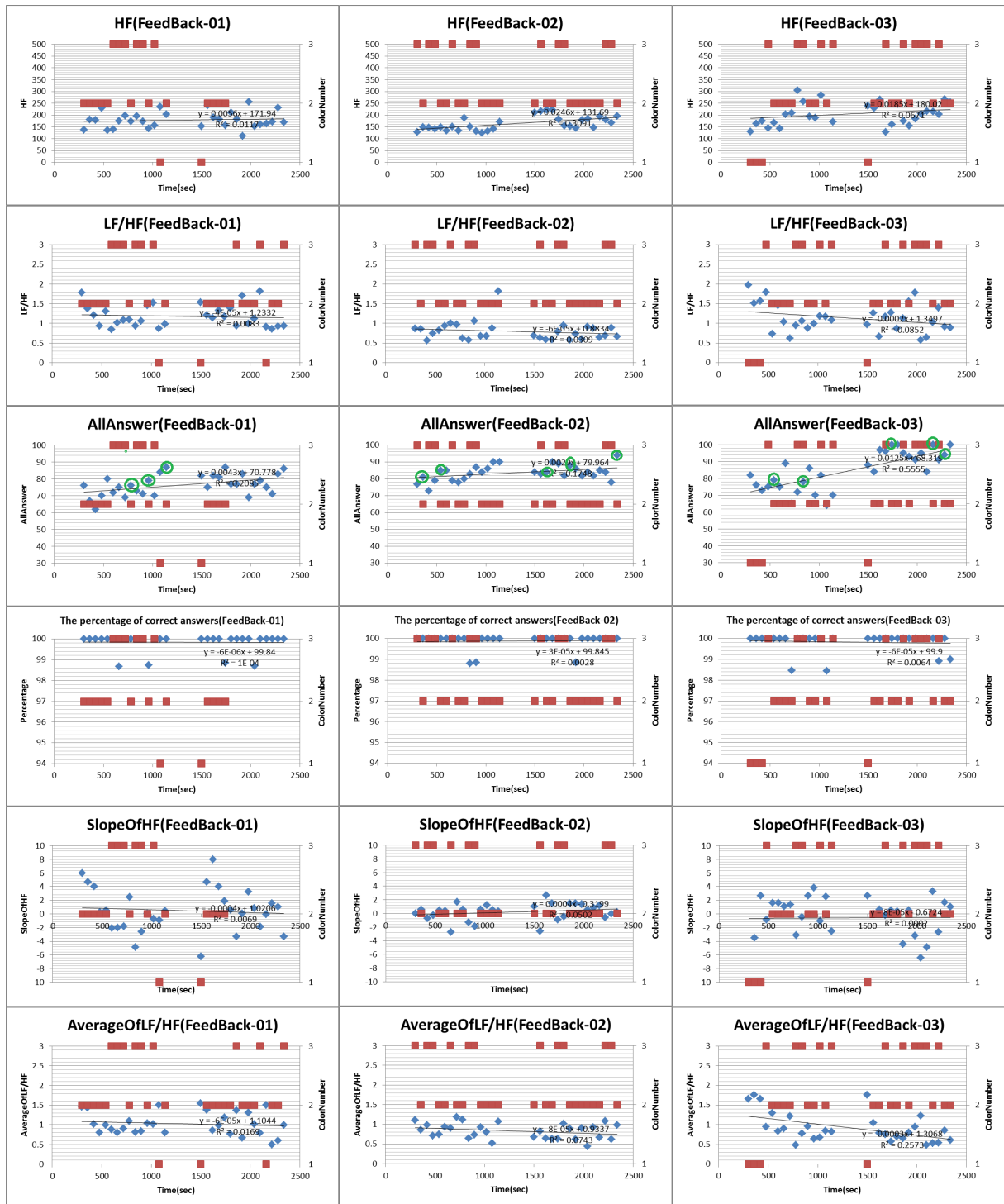


図 5.3.4: 被験者 D の評価実験についての結果

## 第6章 応用例

色彩環境を用いた心拍変動フィードバックにより、作業能率を安定して上昇させることに成功した。実験の際には暗室にてプロジェクタを使用することにより環境構築を行ったが、作業者のパーソナリティの色彩を動的に変化させるような実装を行えば、普段の作業時における利用も期待できる。また、このような実装を行えば、被験者の嗜好に合わせた作業環境が被験者ごとに用意できることになり、個人の嗜好の違いを反映した、状況に応じた自動的な色彩デザインが実現できる。個々の嗜好によって生じる空間に対しての快・不快の違いを本システムは解消できるため、パーソナライズされた色彩環境の実現を行える可能性がある。

今回は作業時における作業能率を推測する、という手段を用いてバイオフィードバックを行ったが、過剰なストレスを感じているユーザには、休憩を促すようにも応用出来る。また、VDT作業に一日の多くの時間従事している労働者は、交感神経が常に緊張してしまう過緊張状態に陥りやすいとされる。この過緊張状態を改善するためには、過緊張状態を自覚し、副交感神経を高める必要がある。関連研究では色彩は癒しの効果を与えることが有効であると述べられており、今回の実験で自身の状態への「気づき」の効果があったという感想があった。緊張状態の持続時間を測定し、過緊張状態であることへの気付きを与えることで、過緊張状態を和らげることができる。このように、VDT作業者の環境改善に、本研究のフィードバックシステムを適用できる可能性がある。

## 第7章 結論

本論文では、心拍変動フィードバックによる色彩環境構築システムを提案した。このシステムで、ユーザの作業能率、ストレス・リラックス状態を推測し、状況に合わせてリアルタイムにユーザに最適な色彩環境を提示することを試みた。システムの実装に先立ち、色彩環境が作業中の個人の自律神経や作業能率に影響を与えるか、心拍変動解析の結果とクレペリン検査の回答数から検証した。また、心拍変動と作業能率の関係性についても検証を行い、結果、色彩環境において一定の効果はみられなかったが、ユーザの作業能率の推定が行える可能性を見出した。

心拍変動から作業能率をリアルタイムに推定し、被験者の嗜好に合わせた色彩環境を提示できるよう、実際にシステムを実装した。心拍の測定デバイスが発する異常値について補正するアルゴリズムを考案し、心拍間隔・解析結果に明らかな異常値が発生する問題を解消した。また、心拍変動を周波数解析する手法としてウェーブレット変換を利用し、自律神経活動の変化を秒単位に捉えられるようにした。状況推定開始から色彩環境提示までの処理時間は平均2秒であり、リアルタイムなフィードバックを実現した。

結果、検証実験の際には作業能率が大きく下がる例が見受けられたものの、評価実験の際には見受けられず、全体的に作業能率は時間とともに上昇した。また、被験者が「やる気をだしたいときの色」を提示した際には、提示した前に比べて作業能率が上昇した結果が多く見受けられた。「落ち着きたいときの色」については一定の効果が見られなかったが、LF/HF比の値から過度なストレスをユーザが受けているかどうか判断する際に、個人や時間を考慮することで、適切に提示できる可能性がある。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた修士論文指導教員、入江英嗣准教授に感謝の意を表す。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた吉永入江研究室の皆様、特に吉永努教授、吉見真聡助教、佐久間大輝君にも感謝の意を表す。

## 参考文献

- [1] スズケン. <http://www.suzuken.co.jp/>.
- [2] garmin. <http://www.garmin.com/>.
- [3] 和歌山大学空間デザイン研. 和歌山大学 空間デザイン研 色彩学 講義プリント.
- [4] 大和高田さざんかホール—会議室. <http://www1.kcn.ne.jp/~sazanka/kaigi.htm>.
- [5] 図書室概要 | cias 京都大学地域研究統合情報センター図書室. <http://www.cias.kyotou.ac.jp/library/index.html>.
- [6] 加藤千恵子, 寺田信幸, 鳥谷部達, 斎藤兆古. 心拍変動を用いた色彩環境の心身に与える影響の解析 性格特性・嗜好による個人差の測定 . 第 36 回 可視化情報学会, pp. 143–146, 2008.
- [7] 深澤奏子, 高田谷久美子, 佐藤都也子. 健康な成人が色彩にもつイメージと生理的反応. 山梨大学看護学会誌, Vol. 8, No. 1, pp. 23–27, 2009.
- [8] 水野谷梯子, 久保俊平, 田口亮. 色彩環境が心理と作業能率に及ぼす影響に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告.SIS, スマートインフォメディアシステム 110(445), pp. 23–26, 2011.
- [9] 水野谷梯子, 久保俊平, 田口亮. 色彩環境が作業能率や感情に及ぼす影響に関する研究. 日本色彩学会誌 35(Supplement), pp. 34–35, 2011.
- [10] 永田健太郎, 田村哲哉, 飯田健夫. 緊急発生時における精神的負荷の計測. 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会論文集, pp. 613–614, 1999.
- [11] 永田健太郎, 田村哲哉, 飯田健夫. 精神作業負荷心電図の周波数解析. 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会論文集, pp. 613–614, 1999.
- [12] 石橋富和, 大谷璋, 三浦武夫. 精神負担の指標としての心拍数. 産業医学 10(7), pp. 377–379, 1968.
- [13] 矢島潤平, 尾形尚子, 河野愛生. メンタルストレステストによる心臓血管系反応と主観的ストレス反応との関連性. 別府大学大学院紀要 (12), pp. 31–39, 2010.
- [14] 大森正子, 橋本令子, 加藤雪枝. 色彩刺激に対する心理評価と生理反応評価. 日本色彩学会誌 and 26(2), pp. 50–63, 2002.
- [15] 久保俊平, 水野谷梯子, 田口亮. 色彩環境の違いが作業に及ぼす影響に関する研究. 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2011 年基礎・境界, 219, pp. 13–16, 2011.

- [16] 杉田典大, 吉澤誠, 田中明, 阿部健一, 山家智之, 仁田新一. 音声及び映像を介した心理的・生理的指標のバイオフィードバック. 計測自動制御学会東北支部 第 205 回研究集会, pp. 205-5, 2002.
- [17] 牛田順一郎, 横山清子, 水野みか子, 嶋田勝彦, 高田和之. 心拍変動による作業中の提示音楽制御. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス 101(406), pp. 71-75, 2001.
- [18] 倉恒弘彦, 西澤良記, 小泉淳一, 渡辺恭良, 高田和之. 精神作業負荷に伴う疲労の評価法の検証. <http://www.fuksi-kagk-u.ac.jp/guide/efforts/research/kuratsune/01kuratsune/report01.html>.
- [19] 林博史, 谷明博, 山崎義光, 堀正二, 大塚邦明, 大川眞一郎, 松田直樹, 副島京子, 小川聡, 小原克彦, 日和田邦男, 佐藤廣. 心拍変動の臨床応用: 生理的意義, 病態評価, 予後予測. 医学書院, 2 1999.
- [20] 本多薫, 若井正一. ウェーブレット変換による心拍変動解析に関する検討: R-r 間隔の急激な変化時のパワースペクトルについて. 山形大学大学院社会文化システム研究科紀要, 第 3 巻, pp. 35-43, 2006.
- [21] 戸田浩, 章忠, 川畑洋昭. 最新ウェーブレット実践講座 入門と応用 信号処理の基礎から最新理論まで. 東京: ソフトバンククリエイティブ, 10 2005.

## 発表論文

- [1] 小貫 貴央, 神田 尚子, 放地 宏佳, 吉永 努, 入江 英嗣:「関連データ先読みとスマートフォンの消費電力に関する研究」, 第 10 回情報科学技術フォーラム研究発表 (FIT2011), C-015, Sep. 2011.
- [2] 神田 尚子, 佐久間大輝, 吉永 努, 入江 英嗣:「色彩環境下での心拍変動との作業能率の相関に関する検討」, インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2012) ポスター発表, pp.231-232, Dec. 2012.



# 付録

## 第 5 章の検証結果

- minutes:平均
- HfAverage:HF 成分の平均
- LfHfAverage:LF/HF 比の平均
- CA:正答数 (CorrectAnswers)
- AA:回答数 (AllAnswer)
- P:正答率 (Percentage)
- SloopOfHF:フィードバックに用いた, 180 秒間の HF 成分の回帰直線の傾き
- AverageOfLF/HF:フィードバックに用いた, 180 秒間の LF/HF 比の平均
- Color:提示した色
- Color-number:提示した色の, 被験者にとっての嗜好
  - 1:落ち着きたい時の色
  - 2:やる気を出したい時の色
  - 3:集中したい時の色

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	234.8722302	1.226247256	67	67	100
360	137.4382243	1.941899667	64	64	100
420	287.1664173	0.985829584	67	67	100
480	247.6324565	0.939922378	68	68	100
540	372.3711347	1.040550058	65	65	100
600	420.7624373	1.032110987	67	67	100
660	429.7331443	0.525166649	53	54	98.14814815
720	338.8996227	1.031410689	61	61	100
780	380.1476752	1.124359145	43	44	97.72727273
840	270.9145599	1.805911004	67	67	100
900	414.3044433	1.125193961	58	58	100
960	234.8260678	1.447957797	60	60	100
1020	364.5647446	0.789886389	65	65	100
1080	247.8058816	1.523824363	61	61	100
1140	109.5774562	2.470184413	66	66	100
1500	270.0854912	0.814201328	64	64	100
1560	264.802362	1.191057356	68	68	100
1620	197.5220584	1.556205681	74	74	100
1680	251.4280792	1.595074815	59	60	98.33333333
1740	177.878885	1.81829912	66	66	100
1800	338.004541	1.094258836	63	65	96.92307692
1860	277.4877194	1.051254691	72	72	100
1920	151.1176968	1.416860637	70	70	100
1980	294.337281	0.91278212	64	64	100
2040	332.904344	1.211020967	73	74	98.64864865
2100	349.2409564	0.976559794	66	67	98.50746269
2160	320.6648124	1.180026755	57	57	100
2220	327.3327232	0.906171284	65	65	100
2280	220.4873453	1.447662679	70	70	100
2340	183.494374	1.725686318	63	63	100

表 7.1: 検証実験の結果 (被験者 A-赤-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	221.357264	1.176928817	58	58	100
360	178.7605354	1.975775996	63	63	100
420	200.621996	1.639060166	59	59	100
480	263.5893949	2.305784545	59	59	100
540	201.2596827	1.33897984	55	55	100
600	188.8032588	1.552273891	71	71	100
660	320.9568174	1.577164171	66	66	100
720	199.9084257	2.046572521	71	71	100
780	295.5435029	1.459856448	63	63	100
840	254.0131027	1.556666601	62	62	100
900	205.7589188	1.92079932	61	61	100
960	250.2306945	1.386600102	67	67	100
1020	277.2508771	1.118286737	66	66	100
1080	130.8293111	2.280669876	58	58	100
1140	224.5646302	1.301852478	63	63	100
1500	210.6537061	2.116405504	70	72	97.22222222
1560	158.573839	1.10636079	74	75	98.66666667
1620	202.4078132	1.414028687	75	76	98.68421053
1680	238.5252329	1.46861012	67	67	100
1740	191.779215	2.33446682	68	68	100
1800	258.8677192	1.037675185	71	71	100
1860	163.3666584	1.275698886	74	74	100
1920	283.7056472	1.58832687	72	72	100
1980	280.4169982	1.095983101	78	78	100
2040	193.731912	1.077866022	73	73	100
2100	245.4209055	1.708727501	64	64	100
2160	234.0949272	1.239876125	61	61	100
2220	295.429525	1.610847358	66	66	100
2280	171.9091631	2.364413896	66	66	100
2340	193.834957	2.084945884	71	71	100

表 7.2: 検証実験の結果 (被験者 A-赤-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	121.9779413	0.961320191	77	77	100
360	137.4793885	1.414333682	74	74	100
420	206.8337843	0.790379827	65	65	100
480	157.3012825	1.303285832	72	72	100
540	159.5761025	1.678676125	72	72	100
600	197.603517	1.387882765	69	69	100
660	240.5000035	1.753670158	76	76	100
720	258.0232682	1.62806083	64	64	100
780	153.4298188	2.041312065	67	68	98.52941176
840	201.6819387	1.661970349	66	66	100
900	220.2322379	1.238522696	62	62	100
960	193.8116559	1.950365005	75	75	100
1020	133.7470392	1.888896886	81	81	100
1080	242.7837575	1.172609268	64	65	98.46153846
1140	258.0759622	1.707868035	69	69	100
1500	170.0695544	1.757003967	81	81	100
1560	155.7443719	2.005348875	76	76	100
1620	171.8834731	1.423677103	81	81	100
1680	201.1493404	1.046411034	82	82	100
1740	232.922167	0.892545732	82	82	100
1800	148.3957801	1.335069461	79	79	100
1860	199.811896	1.420198358	89	89	100
1920	144.5231575	1.784407355	75	75	100
1980	125.0675734	1.626720328	80	80	100
2040	191.5491164	1.534729429	76	78	97.43589744
2100	202.0645909	1.48141477	79	79	100
2160	146.658472	1.354113657	80	80	100
2220	209.8278217	1.550015138	76	76	100
2280	183.8742871	2.036362616	75	75	100
2340	129.9029269	1.746621027	82	82	100

表 7.3: 検証実験の結果 (被験者 A-赤-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	381.015556	0.582261619	58	58	100
360	328.2781406	0.785785087	52	53	98.11320755
420	397.8895365	0.796688549	57	57	100
480	240.5269331	1.235615444	60	60	100
540	301.7821829	0.914780128	53	53	100
600	228.2526538	1.011594163	57	57	100
660	342.9521149	0.737132047	60	60	100
720	391.4481762	0.787983872	60	60	100
780	409.3592965	0.722389141	55	55	100
840	250.7387873	1.326027211	55	56	98.21428571
900	342.9336416	0.787087852	54	54	100
960	299.1188922	0.980530702	53	53	100
1020	262.27662	0.7491703	62	62	100
1080	361.153093	0.951058499	63	63	100
1140	310.7497603	1.027949527	62	62	100
1500	304.5379797	0.682383364	58	61	95.08196721
1560	192.1826917	1.596267424	61	61	100
1620	307.0617568	1.194207311	68	68	100
1680	418.2772614	0.823669123	67	67	100
1740	299.7452515	1.25000295	64	64	100
1800	206.9996297	1.199237288	65	65	100
1860	312.5705636	0.935205035	75	75	100
1920	394.5726825	0.73057589	68	68	100
1980	326.3018152	0.847261556	69	70	98.57142857
2040	392.3329801	0.517754757	72	72	100
2100	301.7793383	0.776613864	67	68	98.52941176
2160	229.5548337	1.096040707	62	62	100
2220	283.936303	1.118337968	63	66	95.45454545
2280	347.4612771	0.608991156	66	67	98.50746269
2340	363.4813685	1.088268243	68	68	100

表 7.4: 検証実験の結果 (被験者 A-緑-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	182.4528268	1.035143935	77	77	100
360	242.1493584	1.025742308	66	66	100
420	228.8802637	1.254502947	66	66	100
480	215.1192778	1.040071652	65	65	100
540	123.8175344	2.090639741	69	69	100
600	244.8385222	1.505024524	65	65	100
660	185.7730261	1.714451845	71	71	100
720	244.2775327	1.199671032	68	68	100
780	182.4756083	1.527472614	58	58	100
840	208.2635662	1.186793965	72	72	100
900	136.1099919	1.522087976	74	74	100
960	192.489485	0.949230032	71	71	100
1020	274.797421	1.160435687	71	71	100
1080	259.6356141	1.313446304	69	69	100
1140	313.1369871	1.028612521	62	62	100
1500	208.9221773	1.220866869	70	70	100
1560	153.7719678	1.710069381	71	72	98.61111111
1620	209.3921258	1.573106562	69	70	98.57142857
1680	153.1571816	1.661381542	58	58	100
1740	192.4646498	1.286339453	79	79	100
1800	259.1071706	0.970488667	63	63	100
1860	229.6350213	1.507639012	74	74	100
1920	209.0906484	0.917912517	77	77	100
1980	173.2321932	1.750168408	63	64	98.4375
2040	184.739041	1.100133536	69	69	100
2100	223.9419564	1.61259308	65	65	100
2160	165.4957862	1.370470877	74	74	100
2220	258.965439	1.395300439	73	73	100
2280	173.5003887	1.536351291	60	61	98.36065574
2340	288.3023794	1.362293493	73	73	100

表 7.5: 検証実験の結果 (被験者 A-緑-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	144.3605263	1.956489747	92	92	100
360	198.4175731	1.465711225	68	68	100
420	166.7401337	1.492079795	66	66	100
480	143.5643486	2.167338872	64	64	100
540	194.99737	0.90154299	65	65	100
600	132.3459165	2.004619062	70	70	100
660	173.5588648	1.431899899	67	67	100
720	162.9955198	1.501880551	78	78	100
780	169.9383505	1.821478319	59	59	100
840	175.3889124	1.95158582	75	75	100
900	135.0698857	2.082779565	74	74	100
960	154.2998924	1.68087981	70	70	100
1020	170.1442391	2.180960313	73	73	100
1080	157.9770692	1.594964985	68	68	100
1140	130.6134526	1.892160336	68	68	100
1500	125.545037	1.52914619	75	75	100
1560	126.8662956	2.070023842	75	75	100
1620	127.6176806	1.568155365	74	78	94.87179487
1680	125.722914	1.146764557	79	79	100
1740	126.4575733	1.828613636	72	72	100
1800	126.5932272	1.107148842	74	74	100
1860	161.0751866	1.556655557	66	66	100
1920	235.7354406	1.90862344	69	69	100
1980	205.676229	2.035717532	69	69	100
2040	219.0227652	1.204739255	78	78	100
2100	174.9968951	2.293593075	73	73	100
2160	235.1230809	1.447900847	71	71	100
2220	211.2289054	1.266069493	72	72	100
2280	253.8632015	1.197226246	75	75	100
2340	169.4999269	1.612420861	79	81	97.5308642

表 7.6: 検証実験の結果 (被験者 A-緑-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	272.8786864	1.441005019	45	45	100
360	298.9497797	1.444365785	45	47	95.74468085
420	227.6108068	1.255519628	50	50	100
480	249.9160769	1.512872227	49	50	98
540	213.7953578	1.891965488	51	51	100
600	203.0105399	1.903416482	52	52	100
660	162.5119785	1.966926461	44	45	97.77777778
720	173.7174335	1.909212297	48	48	100
780	210.9082416	1.578463888	50	52	96.15384615
840	165.1226189	1.915942853	51	51	100
900	270.9535337	0.893803551	55	55	100
960	178.0899388	2.137131002	53	53	100
1020	152.9802297	2.212317468	55	55	100
1080	162.1345843	1.842395317	56	57	98.24561404
1140	259.804668	1.748330813	51	51	100
1500	212.2441489	1.96992233	62	62	100
1560	197.5338686	1.912468746	64	64	100
1620	178.9245443	1.932645939	63	64	98.4375
1680	139.2500205	2.234502935	56	59	94.91525424
1740	196.4384069	1.920979657	57	57	100
1800	169.730268	2.196237891	60	60	100
1860	222.3738893	1.12426044	60	60	100
1920	144.4842341	2.237049875	61	61	100
1980	228.8001455	1.749533669	56	57	98.24561404
2040	160.3867285	1.707464878	55	58	94.82758621
2100	237.0239256	1.847222211	60	61	98.36065574
2160	177.9562367	1.527552546	59	60	98.33333333
2220	205.369246	1.856486331	60	60	100
2280	234.3660125	1.4491397	57	57	100
2340	224.1598988	1.45213095	60	60	100

表 7.7: 検証実験の結果 (被験者 A-青-実験 1 回目)



minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	270.7788225	1.350903153	62	62	100
360	282.2142257	1.149639664	67	67	100
420	341.0159308	0.87608723	62	62	100
480	260.0590629	1.759981544	58	58	100
540	310.1881539	1.099636895	63	63	100
600	278.3054576	0.867999466	63	64	98.4375
660	299.3138599	0.869830755	60	60	100
720	404.2869924	0.642580075	63	63	100
780	324.3387063	1.12817019	65	65	100
840	356.7427384	1.036844391	68	69	98.55072464
900	247.2675999	0.795348067	64	65	98.46153846
960	344.8119254	1.042407592	68	69	98.55072464
1020	403.8232659	0.825148606	65	65	100
1080	187.3946292	1.337201424	63	63	100
1140	234.0562509	1.530768713	68	68	100
1500	317.6677545	0.831724672	66	66	100
1560	328.7753392	0.576550912	70	70	100
1620	242.6371386	1.389438637	62	62	100
1680	386.0509514	1.092325557	72	72	100
1740	296.9883757	1.174414015	65	65	100
1800	276.9440349	1.416914378	63	63	100
1860	343.4838835	1.326388494	74	74	100
1920	368.2688191	1.025124687	74	74	100
1980	290.5690783	1.39819473	64	64	100
2040	256.9644073	2.007497002	59	59	100
2100	249.3333343	1.458868348	68	68	100
2160	326.4590499	0.906917271	71	71	100
2220	297.4170009	1.251990755	69	69	100
2280	271.0138081	1.09289812	68	68	100
2340	311.9233144	0.894342722	67	67	100

表 7.8: 検証実験の結果 (被験者 A-青-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	163.9939199	1.12513801	68	69	98.55072464
360	127.8628008	2.062384389	79	79	100
420	238.7243763	0.828557399	67	67	100
480	215.6219296	1.639426314	61	61	100
540	186.7736438	1.089843937	71	71	100
600	137.0816092	2.168959885	74	74	100
660	197.7841541	1.710033769	74	74	100
720	211.8310778	1.385745433	75	75	100
780	179.2349242	1.525990855	63	65	96.92307692
840	174.3570782	1.79869209	68	68	100
900	189.1012445	1.467047405	75	75	100
960	148.249575	1.26980909	73	73	100
1020	191.4691413	1.265900829	77	77	100
1080	217.0966179	1.836614137	75	75	100
1140	185.0293498	2.037942669	69	69	100
1500	175.7141909	1.614962772	79	79	100
1560	190.0513944	1.703101571	72	72	100
1620	165.3820552	1.979498638	77	77	100
1680	196.1715003	1.700505324	80	81	98.7654321
1740	150.7332839	1.162267968	78	78	100
1800	202.6289685	0.971929569	85	85	100
1860	226.3176697	1.467943953	52	54	96.2962963
1920	143.1571861	2.187859732	76	76	100
1980	144.9296772	1.523542553	79	79	100
2040	184.8020194	1.664670789	73	73	100
2100	191.8317359	1.114627329	71	71	100
2160	185.8298123	1.398056295	78	78	100
2220	167.9167547	1.964653646	68	68	100
2280	162.9780306	1.580370595	76	76	100
2340	185.8643343	2.2523093	75	75	100

表 7.9: 検証実験の結果 (被験者 A-青-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	235.5029049	0.642625211	50	50	100
360	282.1225516	0.94908624	65	65	100
420	230.6129978	1.316977136	52	52	100
480	200.0276239	1.346981835	58	58	100
540	259.0748499	1.060917639	67	67	100
600	247.8269596	1.13128812	54	54	100
660	274.0792072	1.193109328	61	61	100
720	270.5471988	1.108516506	59	59	100
780	264.2535981	1.006582386	53	53	100
840	220.098023	1.252764524	54	54	100
900	193.7378794	1.373565344	50	50	100
960	304.6951339	1.5433667	52	52	100
1020	228.2907988	0.50812607	59	59	100
1080	263.5866782	0.512616885	62	62	100
1140	289.5248126	0.656486982	58	58	100
1500	252.3474016	1.101757171	50	50	100
1560	263.514746	0.87519511	55	55	100
1620	231.9059844	0.379659038	61	61	100
1680	255.332822	0.439689681	55	55	100
1740	259.0572533	0.997800874	68	68	100
1800	254.6227506	0.632918809	55	55	100
1860	252.3705275	0.679199339	56	56	100
1920	274.4926492	0.915998737	56	56	100
1980	266.6949096	0.790103216	46	46	100
2040	307.1695523	0.670540449	48	48	100
2100	361.5709797	0.718469334	54	54	100
2160	291.3555708	1.068136339	61	61	100
2220	237.637214	0.922020309	58	59	98.30508475
2280	270.7328731	0.423572103	56	57	98.24561404
2340	252.6793366	0.619054027	60	60	100

表 7.10: 検証実験の結果 (被験者 B-赤-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	110.5396953	0.469787275	57	57	100
360	107.5667773	0.55805104	58	58	100
420	115.6068251	0.630619855	55	55	100
480	136.2838195	0.374899657	58	58	100
540	132.2324678	0.756775584	46	46	100
600	120.8251328	0.535458859	57	57	100
660	125.4162857	0.733041136	60	60	100
720	199.8862201	0.417621354	51	51	100
780	118.246828	0.755335456	38	38	100
840	176.7304116	0.413520938	59	59	100
900	127.8881869	0.669634196	69	69	100
960	173.9485774	0.386500087	58	58	100
1020	158.7736502	0.599011972	55	55	100
1080	166.0174951	0.378091354	54	54	100
1140	126.3659017	0.690501522	63	63	100
1500	156.971241	0.365471338	59	61	96.72131148
1560	137.4143983	0.846973133	58	58	100
1620	137.4578057	0.969459968	51	52	98.07692308
1680	151.052599	0.906822639	59	59	100
1740	177.3138446	0.478939356	68	68	100
1800	156.5966868	0.492077554	57	57	100
1860	120.3279614	0.820789283	68	68	100
1920	182.0120846	0.716077835	64	64	100
1980	168.8189367	0.582354178	47	47	100
2040	162.0546675	0.386456285	55	55	100
2100	176.7776137	0.563781928	53	53	100
2160	156.1499541	0.602423201	68	68	100
2220	145.2746836	0.391626499	55	57	96.49122807
2280	136.2134336	0.49910675	57	57	100
2340	153.7168157	0.569071258	58	59	98.30508475

表 7.11: 検証実験の結果 (被験者 B-赤-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	132.3885154	1.330382862	63	63	100
360	177.7224687	1.704253842	50	50	100
420	154.340966	1.143431191	41	41	100
480	98.9638836	1.256306185	41	41	100
540	105.507618	1.030590486	49	49	100
600	137.4452797	1.478227153	50	50	100
660	125.6441325	1.497713522	46	46	100
720	214.0978416	1.221550669	49	49	100
780	286.9895941	1.225276928	46	46	100
840	234.3784928	1.841179745	45	45	100
900	177.8096945	1.334954956	50	50	100
960	124.7425128	0.760010105	43	44	97.72727273
1020	156.6362646	1.094826463	51	51	100
1080	242.2707169	1.011426727	52	52	100
1140	255.8224901	1.08101816	40	40	100
1500	295.0054071	1.774488717	57	58	98.27586207
1560	286.3571822	1.29652008	39	39	100
1620	213.7575319	1.089863131	42	43	97.6744186
1680	95.08366144	0.60141875	46	48	95.83333333
1740	128.8558522	1.332446564	32	32	100
1800	218.5827996	1.260154477	44	44	100
1860	226.1442843	0.547846125	50	50	100
1920	191.5553569	1.794258619	45	45	100
1980	158.8713067	1.436644955	46	46	100
2040	158.7095718	1.348306185	53	54	98.14814815
2100	176.8160233	0.948170133	41	41	100
2160	125.082799	1.785133007	47	48	97.91666667
2220	163.9259954	1.241365296	39	39	100
2280	197.5020612	1.021990877	42	42	100
2340	147.5231017	0.886548201	44	45	97.77777778

表 7.12: 検証実験の結果 (被験者 B-赤-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	210.4548607	0.621118324	43	44	97.72727273
360	214.5921731	0.699381443	51	51	100
420	233.2779204	1.269489304	55	55	100
480	177.9012881	0.821930263	54	54	100
540	219.3965684	1.153192745	52	52	100
600	259.5052316	0.953995894	53	53	100
660	228.3897019	1.317047067	50	50	100
720	230.926308	1.331486118	46	46	100
780	272.0547878	0.565594097	47	47	100
840	270.2066557	0.772883416	50	50	100
900	170.6195568	1.502932852	55	55	100
960	196.6211692	0.826000022	55	55	100
1020	276.194852	0.684257166	57	57	100
1080	269.728274	0.282735313	55	55	100
1140	239.40806	0.386314807	46	46	100
1500	183.1507682	1.221941978	61	62	98.38709677
1560	241.0283156	0.531046383	56	56	100
1620	271.5754837	0.617102967	49	49	100
1680	256.0813422	0.798214835	56	56	100
1740	278.3253177	0.578434662	57	57	100
1800	311.328913	0.388951258	69	69	100
1860	257.1772203	0.61105898	68	68	100
1920	302.2951734	0.836043845	56	56	100
1980	198.8036931	0.940408599	58	59	98.30508475
2040	242.9688666	0.78261319	52	52	100
2100	231.2960228	0.420972414	63	63	100
2160	204.7273628	0.416422556	63	63	100
2220	193.0419633	0.474622502	65	65	100
2280	167.7152071	0.541880684	60	60	100
2340	203.1752819	0.655965699	59	61	96.72131148

表 7.13: 検証実験の結果 (被験者 B-緑-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	131.64055	0.68662923	59	59	100
360	109.768863	0.650705331	49	49	100
420	172.1214404	0.587723779	48	48	100
480	149.182335	0.645357195	58	58	100
540	134.8054765	0.812462225	60	60	100
600	166.0558899	0.326377003	59	59	100
660	140.1283966	0.645170331	54	54	100
720	155.6362414	0.956460536	53	53	100
780	174.8208549	0.751221787	46	46	100
840	159.5209306	0.884348373	59	59	100
900	165.8191962	0.428699514	41	41	100
960	194.2142561	0.488032592	47	47	100
1020	151.3392983	0.704855978	59	59	100
1080	170.7363539	0.482777894	58	58	100
1140	134.496903	0.828208336	64	64	100
1500	173.0629298	1.042500522	49	50	98
1560	97.30056933	1.190916356	51	51	100
1620	121.9749477	1.142652414	54	54	100
1680	146.5241601	1.121633176	57	57	100
1740	148.7637808	1.056566308	59	59	100
1800	142.8336654	1.295540927	52	52	100
1860	206.5576371	0.584325404	58	58	100
1920	106.6109037	2.046181705	52	52	100
1980	195.2297285	0.534703007	50	50	100
2040	160.9434014	0.41812987	53	53	100
2100	180.4316283	0.726363488	41	41	100
2160	152.5814194	0.856828844	52	52	100
2220	197.4272336	0.488394116	51	51	100
2280	151.5571527	0.539780739	54	54	100
2340	190.0809405	0.45722627	51	51	100

表 7.14: 検証実験の結果 (被験者 B-緑-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	287.2602331	0.883696647	54	54	100
360	244.0888848	1.154059504	48	48	100
420	181.3875474	0.590824023	35	35	100
480	262.8119102	0.709296749	51	51	100
540	186.0764482	0.856534572	44	44	100
600	206.7105832	0.580439827	50	50	100
660	217.0719289	1.238001652	46	46	100
720	192.9930062	0.428780316	61	61	100
780	156.0965448	1.485063894	50	50	100
840	213.3191322	0.551986406	52	53	98.11320755
900	272.2149593	1.147614082	50	50	100
960	198.7810598	0.903773953	48	48	100
1020	206.1680849	0.691466033	36	36	100
1080	209.8247016	0.982562837	29	29	100
1140	188.1031869	0.61598188	50	50	100
1500	183.8518997	0.95645323	54	54	100
1560	134.8744642	1.672901023	54	55	98.18181818
1620	139.7668701	1.537465344	46	46	100
1680	164.4845576	1.383548944	34	34	100
1740	195.5558268	1.105474527	54	54	100
1800	176.0824707	0.463428301	58	58	100
1860	239.9628886	1.107145275	44	44	100
1920	281.0908945	0.50616087	55	55	100
1980	207.5983784	1.14324605	40	40	100
2040	255.5851335	1.086758857	49	49	100
2100	172.661621	0.920495572	45	45	100
2160	200.7918969	0.595192812	47	47	100
2220	157.120479	0.772866612	57	57	100
2280	194.9411673	0.759860734	55	55	100
2340	168.3036427	0.91790128	61	61	100

表 7.15: 検証実験の結果 (被験者 B-緑-実験 3 回目)



minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	193.5060375	0.91451625	65	65	100
360	211.0531757	0.818033902	72	72	100
420	177.9108275	0.869478837	69	69	100
480	144.4737223	0.700686805	72	72	100
540	198.0642857	0.420547141	72	72	100
600	161.8332951	1.365308947	68	68	100
660	156.5991623	1.134208927	72	72	100
720	186.1108871	1.324966075	72	72	100
780	224.3990997	0.795115534	62	62	100
840	169.107907	1.162010987	60	60	100
900	130.0992494	1.381075384	69	69	100
960	121.4525134	1.194716251	67	68	98.52941176
1020	227.5799723	1.651916385	66	66	100
1080	138.1301361	1.388775715	68	69	98.55072464
1140	145.2326284	1.136626556	69	69	100
1500	156.6468693	1.144001258	52	52	100
1560	165.4321232	0.973228879	73	75	97.33333333
1620	157.4065559	1.08246011	71	71	100
1680	149.9303402	0.953502712	70	70	100
1740	158.1033439	0.772314353	67	67	100
1800	129.6139273	0.887642759	77	77	100
1860	115.8221074	0.685024376	73	73	100
1920	144.724486	1.064800088	70	70	100
1980	106.3433261	1.22482093	59	59	100
2040	144.1194504	0.83584406	66	66	100
2100	105.1577793	1.637745151	63	63	100
2160	164.9280753	0.835253	62	62	100
2220	132.7178558	0.910783451	74	74	100
2280	119.4259734	0.873135223	65	65	100
2340	134.1890664	0.677167	71	71	100

表 7.16: 検証実験の結果 (被験者 C-赤-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	281.567443	0.594469168	67	67	100
360	172.8122412	1.309445705	64	64	100
420	200.4407016	1.280319587	63	63	100
480	216.330862	1.051173008	60	60	100
540	223.8183844	1.036491887	68	68	100
600	205.1732855	1.054093812	67	67	100
660	249.8336777	1.325220131	74	74	100
720	175.913025	1.481725526	69	69	100
780	178.265014	0.94581205	65	65	100
840	166.7912538	0.983934428	66	66	100
900	211.6169578	0.738885662	62	62	100
960	245.202809	0.704440642	68	68	100
1020	204.3511642	1.244857151	62	62	100
1080	193.9714848	1.306404594	63	63	100
1140	171.4856724	0.904508715	66	66	100
1500	298.5289617	0.774685005	64	64	100
1560	191.2492103	1.008869794	70	70	100
1620	162.7343163	0.775911845	71	71	100
1680	257.1846439	1.038638963	63	63	100
1740	238.1637045	0.832653093	61	61	100
1800	192.1768363	0.894217331	68	68	100
1860	146.1093769	1.458871775	68	68	100
1920	203.0119113	1.373766321	72	72	100
1980	188.2305771	1.466668862	59	59	100
2040	212.2871432	1.290198808	67	67	100
2100	256.5013622	1.25305805	68	68	100
2160	157.5208001	1.010070181	69	69	100
2220	206.8113249	1.123070474	75	75	100
2280	236.9605328	0.909967126	71	71	100
2340	199.4498979	1.055150133	73	73	100

表 7.17: 検証実験の結果 (被験者 C-赤-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	167.0129765	1.372434872	69	69	100
360	224.705654	1.276505364	66	66	100
420	212.4509074	0.892868338	68	68	100
480	221.7193217	0.934905602	74	74	100
540	165.7953507	0.835812632	71	71	100
600	147.4648097	1.389188268	76	76	100
660	257.5175779	1.024038616	70	70	100
720	193.5729095	0.438688551	74	74	100
780	292.8133905	1.199119218	60	60	100
840	234.4748311	0.789570667	68	68	100
900	201.4379615	0.672618715	69	69	100
960	182.8750374	0.683332108	69	69	100
1020	208.759678	1.153756373	68	68	100
1080	275.2875273	1.074298985	66	66	100
1140	281.6985952	0.541308667	69	69	100
1500	191.7632913	1.016874275	61	61	100
1560	202.9908983	1.447883851	62	62	100
1620	201.9988639	0.963574225	75	75	100
1680	185.1339097	0.953219882	75	75	100
1740	236.2210419	1.182860592	70	70	100
1800	198.3139287	0.617767725	82	82	100
1860	177.4835433	0.715069072	70	70	100
1920	200.2717353	1.234176849	64	64	100
1980	166.3128625	1.277278231	50	51	98.03921569
2040	203.7757924	1.309585819	60	60	100
2100	235.8718616	1.235004977	61	61	100
2160	182.947528	0.892221677	64	64	100
2220	172.990057	0.760654151	70	70	100
2280	217.586519	1.389520326	70	70	100
2340	177.6675107	1.217069328	76	76	100

表 7.18: 検証実験の結果 (被験者 C-赤-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	276.8822627	1.639987265	63	63	100
360	271.5690801	1.324525446	64	64	100
420	265.3838226	0.97204972	63	63	100
480	207.6741493	1.405515311	63	63	100
540	240.4082753	1.638471496	62	62	100
600	176.0302861	1.283766988	65	65	100
660	162.6592113	1.06024322	61	61	100
720	209.0848281	1.348482097	66	66	100
780	253.8290444	0.91682372	55	55	100
840	201.4278235	2.109580574	72	73	98.63013699
900	314.5379858	1.10975371	65	65	100
960	220.7668417	0.962650181	62	62	100
1020	209.9532495	1.375945639	62	62	100
1080	203.1233927	1.813324493	56	56	100
1140	175.0358329	1.964379028	67	67	100
1500	175.1347209	1.518112569	63	63	100
1560	197.3721331	1.285916734	66	66	100
1620	204.1040363	1.19184125	58	58	100
1680	167.2812853	1.236493865	70	70	100
1740	225.8769205	0.930021739	69	69	100
1800	163.3409385	0.996525231	75	75	100
1860	208.8934245	0.918388333	68	68	100
1920	211.1635972	0.975924434	72	72	100
1980	252.1040344	1.256837333	54	54	100
2040	139.8679983	1.509791928	62	62	100
2100	163.8850015	1.029146933	68	68	100
2160	253.3105583	1.059135399	61	61	100
2220	152.8450071	1.612525314	67	67	100
2280	112.5037586	1.875232658	65	65	100
2340	170.2708727	1.478208532	64	64	100

表 7.19: 検証実験の結果 (被験者 C-緑-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	192.9631946	1.18450893	62	62	100
360	238.9620642	1.602334253	65	65	100
420	213.7179674	1.316875095	72	72	100
480	224.5237963	0.848508664	71	71	100
540	234.5705525	1.31385275	75	75	100
600	229.7934914	1.112533198	70	70	100
660	262.3943125	0.7734379	68	68	100
720	284.328952	0.716722062	76	76	100
780	169.6613769	1.183863712	57	57	100
840	176.9686571	1.550407846	68	68	100
900	161.3665708	1.677651052	69	70	98.57142857
960	238.0232442	0.933336993	75	75	100
1020	261.6126452	1.167912987	74	74	100
1080	160.8189742	1.828727722	72	72	100
1140	149.7977781	0.977974792	72	75	96
1500	207.92337	1.43097772	66	66	100
1560	186.8257377	1.83646941	64	64	100
1620	186.5088837	1.575438953	73	73	100
1680	233.8467698	0.828855151	62	62	100
1740	161.1247677	1.856160294	72	72	100
1800	199.7680885	1.266670682	79	79	100
1860	229.1003564	1.683930717	66	66	100
1920	236.8702901	1.229935302	68	68	100
1980	199.8701835	1.012199992	60	60	100
2040	178.2166929	1.315383263	72	72	100
2100	178.6279052	1.362560664	70	70	100
2160	250.8133715	0.76546517	60	60	100
2220	182.7988362	1.668789416	62	62	100
2280	229.4855467	1.359400359	66	66	100
2340	202.1574655	1.408284814	73	73	100

表 7.20: 検証実験の結果 (被験者 C-緑-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	242.9398448	1.438824867	73	73	100
360	142.2927034	1.597497676	70	70	100
420	163.5845167	1.848092924	60	60	100
480	167.2614038	2.582147418	58	58	100
540	175.0634746	2.055137352	65	66	98.48484848
600	169.17933	2.01433847	71	71	100
660	225.6788692	1.996510226	60	60	100
720	243.3703985	1.953542528	71	71	100
780	165.768095	1.685875242	59	59	100
840	152.4301044	1.754604608	67	67	100
900	177.6451008	1.684575934	69	69	100
960	189.4186101	1.805954477	75	75	100
1020	189.5840642	1.543826362	68	68	100
1080	137.6441004	2.314498748	72	72	100
1140	177.4938565	1.699208825	72	72	100
1500	124.9405743	2.551278748	67	67	100
1560	181.9475257	1.926134953	73	73	100
1620	165.2568589	1.595534364	75	75	100
1680	136.4997441	2.344429418	76	76	100
1740	223.3134169	1.833082665	79	79	100
1800	146.0522332	1.860005601	76	76	100
1860	201.1610498	1.687825034	70	70	100
1920	178.5591544	1.759988483	70	72	97.22222222
1980	142.8891479	2.099133691	62	62	100
2040	136.1163636	1.730613341	63	63	100
2100	112.2182109	1.865228091	71	71	100
2160	159.2811126	1.785306381	62	62	100
2220	130.6395876	1.56261632	73	73	100
2280	166.1306265	1.466493427	77	77	100
2340	210.9093026	1.691045842	67	67	100

表 7.21: 検証実験の結果 (被験者 C-緑-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	170.4294704	1.100387732	57	57	100
360	113.6748583	0.947719361	53	53	100
420	124.6080794	1.011039078	60	61	98.36065574
480	119.7545668	1.389631193	55	55	100
540	136.8186707	0.928651812	62	63	98.41269841
600	133.5733977	1.315188281	58	58	100
660	135.2587459	1.383948291	60	60	100
720	134.3457965	1.092254047	56	56	100
780	164.6734246	1.000837707	63	63	100
840	150.2161516	1.44088506	64	64	100
900	160.3389127	1.063252433	57	57	100
960	157.3242775	1.184280559	63	63	100
1020	162.4351779	1.090130323	63	63	100
1080	140.4419123	1.012031865	60	60	100
1140	130.7070723	1.306089063	69	69	100
1500	152.0409016	1.133683779	60	60	100
1560	168.2101765	1.350214609	55	55	100
1620	191.5385493	0.727137908	67	67	100
1680	210.3187775	1.310353203	68	68	100
1740	234.2027383	0.933769702	67	67	100
1800	130.8354902	1.058308376	70	70	100
1860	123.7147402	1.43791891	68	68	100
1920	108.0102524	1.383342845	55	55	100
1980	199.6007026	0.834530288	57	58	98.27586207
2040	151.4862039	1.304324639	60	60	100
2100	138.2468477	1.210856764	56	56	100
2160	146.1252921	1.190384155	64	64	100
2220	134.0153896	1.123216519	63	63	100
2280	125.3438493	1.741527821	63	63	100
2340	138.3488024	1.191949747	63	63	100

表 7.22: 検証実験の結果 (被験者 D-赤-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	204.7412269	1.152282188	67	67	100
360	223.9381551	0.722819216	61	61	100
420	131.0267173	1.427590606	64	64	100
480	154.2286716	1.079951667	68	68	100
540	147.6267154	0.789524077	69	69	100
600	184.1346795	0.843161413	59	59	100
660	131.7759373	1.271158812	62	62	100
720	160.9317965	1.067453805	60	60	100
780	203.8424139	1.083226562	58	58	100
840	158.8233686	1.326066767	61	62	98.38709677
900	121.4817692	1.741108159	58	58	100
960	185.4461562	1.021971338	55	55	100
1020	190.3229646	0.726046273	72	72	100
1080	230.4782385	0.77985599	65	65	100
1140	137.2141265	1.426755533	61	61	100
1500	191.1768559	0.877401388	64	64	100
1560	214.6821542	1.28680034	69	69	100
1620	147.7876982	1.559046025	66	66	100
1680	154.161081	1.377888052	62	62	100
1740	191.9622246	0.902902305	65	65	100
1800	177.9233557	1.267867221	64	64	100
1860	144.9266601	1.507078632	72	72	100
1920	197.4689286	1.190572386	63	64	98.4375
1980	178.0954596	1.069205496	64	64	100
2040	145.0251296	1.042454459	71	71	100
2100	151.8524318	0.75156689	68	69	98.55072464
2160	208.2062634	0.64912411	69	69	100
2220	152.6054326	1.190312426	70	70	100
2280	131.7219512	1.719633886	63	63	100
2340	142.33353	1.315837072	66	66	100

表 7.23: 検証実験の結果 (被験者 D-赤-実験 2 回目)



minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	146.131585	0.799768251	69	69	100
360	125.9086297	2.088568792	68	68	100
420	161.4039509	1.198260879	73	73	100
480	123.5897726	0.63067889	78	78	100
540	180.7758439	0.79707782	76	76	100
600	149.5724064	1.106740947	73	73	100
660	165.1752163	1.409934254	66	66	100
720	191.2685406	0.947884116	69	69	100
780	255.3308255	1.050436516	68	68	100
840	240.3280923	0.986531047	70	70	100
900	185.842719	0.511872654	69	69	100
960	145.4990046	1.453408295	75	75	100
1020	154.4050454	1.194555135	75	75	100
1080	105.5230353	1.0169179	75	75	100
1140	136.8423555	0.973625038	76	76	100
1500	162.9335508	1.187300779	70	70	100
1560	179.7607064	1.255222037	71	71	100
1620	177.2832736	1.3732653	73	73	100
1680	141.4249975	1.625815178	70	72	97.22222222
1740	147.286524	1.115753752	81	81	100
1800	181.9924735	1.160641028	75	75	100
1860	215.1741515	0.729673113	76	77	98.7012987
1920	170.0854379	1.429972257	82	82	100
1980	156.1738188	1.054987261	69	69	100
2040	161.1877373	1.208461438	78	78	100
2100	163.2781665	1.410072699	79	79	100
2160	154.5696209	0.99769774	71	71	100
2220	149.8438429	0.861561654	75	75	100
2280	109.3624865	1.224061528	70	70	100
2340	176.4609354	1.211834148	71	71	100

表 7.24: 検証実験の結果 (被験者 D-赤-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	112.3252221	0.871099484	51	51	100
360	118.048043	1.106918611	50	50	100
420	150.8923156	0.746352616	50	50	100
480	151.5842492	0.559026825	54	54	100
540	137.7582515	0.800935769	50	50	100
600	149.4909232	0.396751324	56	56	100
660	169.8940483	0.598473295	59	59	100
720	173.2729197	0.589872957	54	55	98.18181818
780	148.8737675	0.560436752	51	51	100
840	160.9778919	0.742160987	53	53	100
900	213.8022114	0.70037917	54	54	100
960	209.6031117	0.745560158	60	60	100
1020	161.7184678	0.742271952	60	60	100
1080	136.8894432	0.630185642	60	60	100
1140	158.9379308	1.154281203	58	58	100
1500	157.9454298	0.794159549	53	54	98.14814815
1560	173.656953	0.724451165	51	51	100
1620	178.9836349	0.890572311	51	51	100
1680	145.5590348	1.010055428	69	69	100
1740	168.1357541	0.631826303	67	67	100
1800	228.5884779	0.628306235	64	64	100
1860	122.949875	0.958373559	62	62	100
1920	139.9473994	0.773843579	54	54	100
1980	226.4444919	1.101274439	58	58	100
2040	249.8600568	0.753359647	53	54	98.14814815
2100	231.6579776	0.85176671	50	50	100
2160	212.7485685	0.747109433	56	56	100
2220	165.1112348	1.173173283	58	58	100
2280	246.8464999	0.674624889	54	54	100
2340	211.4793966	0.947322459	55	56	98.21428571

表 7.25: 検証実験の結果 (被験者 D-緑-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	381.015556	0.582261619	64	64	100
360	328.2781406	0.785785087	64	64	100
420	397.8895365	0.796688549	52	52	100
480	240.5269331	1.235615444	60	60	100
540	301.7821829	0.914780128	54	54	100
600	228.2526538	1.011594163	50	52	96.15384615
660	342.9521149	0.737132047	49	51	96.07843137
720	391.4481762	0.787983872	55	55	100
780	409.3592965	0.722389141	57	57	100
840	250.7387873	1.326027211	52	52	100
900	342.9336416	0.787087852	53	53	100
960	299.1188922	0.980530702	54	54	100
1020	262.27662	0.7491703	52	52	100
1080	361.153093	0.951058499	52	53	98.11320755
1140	310.7497603	1.027949527	51	51	100
1500	304.5379797	0.682383364	67	67	100
1560	192.1826917	1.596267424	69	69	100
1620	307.0617568	1.194207311	69	69	100
1680	418.2772614	0.823669123	62	62	100
1740	299.7452515	1.25000295	63	63	100
1800	206.9996297	1.199237288	63	63	100
1860	312.5705636	0.935205035	71	71	100
1920	394.5726825	0.73057589	71	71	100
1980	326.3018152	0.847261556	65	65	100
2040	392.3329801	0.517754757	65	65	100
2100	301.7793383	0.776613864	61	61	100
2160	229.5548337	1.096040707	67	67	100
2220	283.936303	1.118337968	63	63	100
2280	347.4612771	0.608991156	72	72	100
2340	363.4813685	1.088268243	67	67	100

表 7.26: 検証実験の結果 (被験者 D-緑-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	229.8049736	0.683147622	75	75	100
360	152.8274369	0.821174602	75	75	100
420	182.0193845	0.707983597	75	75	100
480	240.8340219	0.792689404	76	76	100
540	161.2213712	0.761200413	77	77	100
600	211.398447	1.039421947	76	77	98.7012987
660	191.5575671	1.084899897	74	74	100
720	182.8014904	0.783404346	76	76	100
780	231.7842826	0.700292354	58	59	98.30508475
840	171.9449166	1.338452238	76	77	98.7012987
900	191.60991	0.796195373	70	71	98.5915493
960	136.2833269	1.292683839	84	84	100
1020	214.4862538	1.020563641	81	81	100
1080	188.0821076	0.737868835	75	75	100
1140	206.2196785	0.886084484	75	76	98.68421053
1500	258.174555	0.663260899	75	75	100
1560	173.392038	1.736501189	76	76	100
1620	197.8945288	1.161802741	78	78	100
1680	151.3861031	1.043530983	79	79	100
1740	184.5257055	1.27020289	84	84	100
1800	189.0358525	0.822944356	74	74	100
1860	232.1299987	1.065172584	86	86	100
1920	179.9796197	0.979033463	78	78	100
1980	189.2993402	0.792980434	79	80	98.75
2040	264.1360412	1.060279209	76	76	100
2100	236.757969	0.98220205	74	75	98.66666667
2160	192.5137738	1.11158524	84	84	100
2220	181.3934691	0.762318268	75	75	100
2280	216.3903799	0.765893285	73	73	100
2340	181.1970031	0.706031341	79	79	100

表 7.27: 検証実験の結果 (被験者 D-緑-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	85.88532789	1.239211489	69	69	100
360	106.7031729	1.583683334	68	68	100
420	99.93257706	0.890329339	63	63	100
480	112.6948901	1.365223715	68	68	100
540	132.9510504	1.366452359	64	64	100
600	87.94041087	0.83040926	66	66	100
660	128.4488908	1.193569453	65	65	100
720	147.7317857	0.805420704	65	65	100
780	186.1355362	0.564557679	61	61	100
840	150.7914591	1.053883674	58	58	100
900	167.6297604	1.122111817	63	64	98.4375
960	157.989256	1.044312705	58	58	100
1020	148.7023704	0.660961186	57	57	100
1080	161.3521536	0.847575696	61	61	100
1140	153.7128446	1.63824491	65	65	100
1500	150.6364614	0.767624889	50	50	100
1560	141.6196623	0.926911022	59	59	100
1620	90.08014409	1.0352323	60	60	100
1680	116.3965528	0.762459694	67	67	100
1740	108.7544823	1.127103326	75	75	100
1800	131.1378831	0.7426029	71	71	100
1860	99.43184435	1.231440765	68	68	100
1920	137.1643056	1.104222253	67	67	100
1980	192.00803	0.874479012	59	59	100
2040	124.9576176	1.053556887	64	64	100
2100	182.330493	0.844338474	69	69	100
2160	125.4019554	0.98769719	75	75	100
2220	98.7745438	1.316835962	67	67	100
2280	151.5450157	1.083767982	64	64	100
2340	139.6433142	1.111486288	71	71	100

表 7.28: 検証実験の結果 (被験者 D-青-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	215.2163216	0.657673574	62	62	100
360	177.3986158	0.693272829	73	73	100
420	129.6080095	0.931746902	75	75	100
480	166.8992192	0.566420651	76	76	100
540	145.8204838	0.718683013	69	69	100
600	151.8573464	0.967982552	71	71	100
660	202.6642389	0.889160862	69	69	100
720	166.960237	0.795950466	69	69	100
780	182.367131	1.02779493	70	70	100
840	165.5375148	0.801504782	61	61	100
900	247.4091897	0.620964509	75	75	100
960	193.1168538	0.637984414	68	68	100
1020	188.768917	1.018355724	70	71	98.5915493
1080	172.9521584	1.020741433	65	65	100
1140	181.6537496	0.947232057	76	77	98.7012987
1500	198.5151224	0.967945757	70	72	97.22222222
1560	161.0006814	1.004622597	68	68	100
1620	183.2555205	0.924170642	73	73	100
1680	146.5382882	1.10426072	64	64	100
1740	125.9309374	0.569751413	69	69	100
1800	126.1614396	1.508579295	76	76	100
1860	195.4096557	1.233700905	74	75	98.66666667
1920	159.5287117	0.915819512	64	65	98.46153846
1980	221.9687376	1.198869657	71	71	100
2040	210.5690061	0.62249199	62	62	100
2100	190.5154062	0.69186187	85	85	100
2160	193.9446459	0.814044243	76	76	100
2220	213.4262692	0.88152204	61	61	100
2280	152.2738983	1.575709097	70	70	100
2340	128.296905	1.265906246	74	74	100

表 7.29: 検証実験の結果 (被験者 D-青-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P
300	92.83887279	0.906225118	77	77	100
360	112.0958565	1.085211145	76	77	98.7012987
420	103.2706097	0.948182023	72	72	100
480	127.3118418	0.627095596	73	73	100
540	90.43738857	0.771460181	75	75	100
600	97.8928836	0.800723389	75	75	100
660	80.89296118	1.279496537	69	69	100
720	136.0145387	1.129203661	75	75	100
780	200.9942941	0.9300602	71	71	100
840	156.0637295	0.660280985	66	66	100
900	201.7901572	0.610641243	73	74	98.64864865
960	170.6859667	0.951057702	64	64	100
1020	157.3505272	0.923033326	59	59	100
1080	262.5477451	0.546141449	57	59	96.61016949
1140	199.5891015	0.859489727	53	54	98.14814815
1500	197.0043282	0.630200261	56	57	98.24561404
1560	174.2263126	0.783904321	64	64	100
1620	227.1348746	1.209700699	55	56	98.21428571
1680	257.6050107	0.786048887	50	53	94.33962264
1740	153.9136481	0.993317454	64	66	96.96969697
1800	200.7818828	1.071786654	66	66	100
1860	269.1797692	0.883065368	51	52	98.07692308
1920	239.4721564	1.14658908	57	57	100
1980	229.1855341	0.964038814	60	62	96.77419355
2040	256.558635	0.946982193	50	50	100
2100	196.4348959	1.475244872	60	61	98.36065574
2160	256.6637897	0.840756141	59	60	98.33333333
2220	226.3960614	1.173184764	54	57	94.73684211
2280	215.6474319	1.069054471	55	58	94.82758621
2340	244.0594093	1.036062401	65	65	100

表 7.30: 検証実験の結果 (被験者 D-青-実験 3 回目)

## 第5章の評価結果

- minutes:平均
- HfAverage:HF 成分の平均
- LfHfAverage:LF/HF 比の平均
- CA:正答数 (CorrectAnswers)
- AA:回答数 (AllAnswers)
- P:正答率 (Percentage)
- SloopOfHF:フィードバックに用いた, 180 秒間の HF 成分の回帰直線の傾き
- AverageOfLF/HF:フィードバックに用いた, 180 秒間の LF/HF 比の平均
- Color:提示した色
- Color-number:提示した色の, 被験者にとっての嗜好
  - 1:落ち着きたいときの色
  - 2:やる気を出したいときの色
  - 3:集中したい時の色



minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	180.2673236	1.603481335	72	72	100	-3.31417834	1.348430355	red	3
360	151.2515538	1.746797136	62	62	100	3.704285701	1.753449254	green	1
420	176.9691163	1.097915448	75	75	100	-0.221622028	1.657412628	green	1
480	114.7504166	2.002113191	69	69	100	-2.03982456	0.890972894	red	3
540	178.1754369	1.894364877	70	70	100	1.159043194	1.735771555	green	1
600	173.4733576	1.334347993	68	68	100	5.364597321	1.8860558	green	1
660	158.200309	1.528394175	71	71	100	0.136794249	1.284353515	blue	2
720	219.0033884	1.672491774	66	66	100	-0.330684189	1.79939268	green	1
780	210.7929553	0.963669464	66	66	100	1.177357442	1.850877956	green	1
840	136.420176	1.709419971	71	71	100	0.163969479	1.24593291	blue	2
900	173.5695036	1.625366375	69	69	100	-1.261895621	1.776239604	green	1
960	201.4660402	1.516178928	69	70	98.57142857	1.435023571	1.710433821	green	1
1020	196.3784213	1.56239414	49	49	100	1.221126055	2.067700196	green	1
1080	179.1843649	1.518553622	61	61	100	-1.142989194	1.481154171	red	3
1140	117.1266728	2.318947412	63	63	100	-2.592749078	1.778791009	green	1
1500	237.3757446	1.054758114	71	71	100	2.120647793	1.816050687	green	1
1560	207.8109864	1.463307093	65	65	100	-1.144874676	0.797273059	red	3
1620	198.4864884	1.456422612	66	66	100	-1.103197904	0.943277128	red	3
1680	201.5169726	1.796555017	67	67	100	-1.526088633	1.462244775	red	3
1740	168.5180715	1.958300562	64	64	100	4.345356607	1.808756748	green	1
1800	140.1777873	1.869874871	68	68	100	-0.714886338	1.648471988	green	1
1860	131.0403367	1.786433366	73	73	100	0.321891892	2.37937492	green	1
1920	189.2528048	1.80363072	67	68	98.52941176	-0.082380049	1.807383028	green	1
1980	168.979998	1.742664461	75	76	98.68421053	-2.616948377	1.646557223	green	1
2040	197.1627011	1.635538367	73	73	100	-2.684991425	2.110429013	green	1
2100	148.5352947	1.177464206	73	73	100	-3.329279261	1.544994973	green	1
2160	123.7803425	2.073277687	72	72	100	1.937523523	0.952344708	blue	2
2220	185.6792002	0.859886263	71	71	100	3.060124749	2.066373146	green	1
2280	208.2197928	1.824608854	74	74	100	6.338618592	0.874873285	blue	2
2340	179.4857053	1.576927633	67	67	100	-1.643155694	2.000178379	green	1

表 7.31: システムの評価実験の結果 (被験者 A-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	171.4767477	1.769530216	56	56	100	-0.204837088	1.57614418	green	1
360	286.5419112	1.551426343	34	34	100	-3.000603765	1.858977778	green	1
420	223.3448491	2.02414409	47	47	100	7.837846568	1.625094878	green	1
480	215.5299446	1.401872168	75	75	100	-2.031950834	2.172589249	green	1
540	194.0571795	1.44477102	64	64	100	5.150195905	1.097268667	red	2
600	187.1554959	1.782628123	70	70	100	0.044502463	1.412716846	red	2
660	185.2274929	2.008361752	71	71	100	0.778614482	2.200281531	green	1
720	276.2347577	1.47261559	75	75	100	-1.13534201	1.830590064	green	1
780	217.5013547	1.325907652	71	71	100	-0.029273459	1.635909574	green	1
840	288.7958445	1.824015215	73	73	100	4.317936252	1.257691716	red	2
900	274.2189962	1.112633809	76	76	100	-7.549197317	1.998881105	green	1
960	229.4341785	1.319470132	74	74	100	4.88629897	1.322960359	red	1
1020	245.4361503	1.309764607	68	68	100	-2.135642518	1.086305706	blue	3
1080	255.3222904	1.492556461	56	56	100	-0.610703783	1.319594778	blue	3
1140	298.5781256	1.310057797	70	70	100	-2.473529538	1.432536787	blue	3
1500	230.4206349	2.042518616	70	72	97.22222222	-3.144141452	1.579828931	green	1
1560	248.9441041	1.175338203	67	67	100	-4.09552414	1.923010325	green	1
1620	311.3623847	1.164052137	62	62	100	-0.532539566	1.10970727	blue	3
1680	195.2046451	1.033444028	66	66	100	2.862849307	1.2660196	red	2
1740	193.4614492	2.082052381	62	62	100	-4.945816873	0.74972084	blue	3
1800	176.3900436	1.661278021	77	77	100	1.791758539	1.889518746	green	1
1860	191.7909964	1.450020849	69	69	100	-1.109730029	1.753378284	green	1
1920	230.0819633	1.418819626	73	73	100	-1.22617796	1.628925623	green	1
1980	196.0478673	1.729781202	75	75	100	3.996233116	1.296058164	red	2
2040	182.6797934	1.399968514	75	75	100	0.103771639	2.502304577	green	1
2100	208.3574844	1.407724757	71	71	100	-2.078762017	1.284707334	blue	3
2160	241.988931	1.04918374	71	71	100	-3.344488555	1.578741938	green	1
2220	186.4423912	2.285420676	71	72	98.61111111	-1.393101646	1.141297387	blue	3
2280	230.556746	1.138049836	74	75	98.66666667	0.163914463	2.278992555	green	1
2340	181.4298672	1.23926629	77	77	100	4.792430503	1.92900489	green	1

表 7.32: システムの評価実験の結果 (被験者 A-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	263.3824279	1.58695268	64	64	100	4.755139884	0.744930955	red	2
360	157.9421793	2.83366784	69	69	100	4.447177749	0.722737533	red	2
420	246.2608392	1.58941526	64	64	100	-1.893461172	0.748486571	blue	3
480	200.2351398	2.106334513	71	71	100	-0.661172229	0.657331026	blue	3
540	247.6060854	1.338465662	67	67	100	-2.22431259	0.805278709	blue	3
600	176.1592821	1.854362708	70	70	100	-2.464720675	0.405720955	blue	3
660	189.6387126	1.700195459	67	67	100	-3.030510113	0.536576971	blue	3
720	228.8809179	1.878866213	65	65	100	-1.987772422	0.5360685	blue	3
780	259.9361276	1.574684457	71	71	100	4.387508112	0.767961626	red	2
840	243.8517917	1.641285215	69	69	100	-0.424224704	0.659447834	blue	3
900	183.561127	2.009259894	68	68	100	1.550434351	0.438227047	red	2
960	268.4938272	1.951549127	64	64	100	3.6304419	0.472622709	red	2
1020	235.4968853	1.660192608	71	71	100	-8.753887061	0.649578585	blue	3
1080	189.869367	1.043885593	68	68	100	-6.425692516	0.507202614	blue	3
1140	153.2721072	1.559135708	68	68	100	0.062404883	0.44670714	red	2
1500	203.7302127	1.834080106	78	78	100	-9.047221255	0.358759687	blue	3
1560	201.0766168	1.823740277	70	70	100	2.523684716	0.628866026	red	2
1620	240.6984376	1.827933168	74	74	100	1.556726301	0.381249391	red	2
1680	137.1599727	2.430554123	68	68	100	-4.582121773	0.718330322	blue	3
1740	172.2521434	1.506368445	71	71	100	-10.21952042	1.016126891	blue	3
1800	142.2265239	1.650294783	73	73	100	2.802806103	0.646656116	red	2
1860	207.6552208	1.644816669	68	68	100	2.999509823	0.747308846	red	2
1920	228.3688294	1.496132983	55	55	100	1.500045368	1.282637434	red	2
1980	173.1150498	1.210567952	68	68	100	0.191147341	0.559078507	red	2
2040	140.5230086	2.469363163	71	71	100	-4.032447078	0.528373483	blue	3
2100	115.4813744	2.425177085	75	75	100	4.198876966	0.901866353	red	2
2160	160.5241275	1.467818329	77	78	98.71794872	-0.908113458	0.654131437	blue	3
2220	174.55182	1.682271943	75	75	100	-3.437268579	0.739328762	blue	3
2280	184.0736539	1.054393835	70	70	100	-2.676016025	0.924555187	blue	3
2340	134.8593741	1.718088105	80	80	100	-1.230931862	0.51910914	blue	3

表 7.33: システムの評価実験の結果 (被験者 A-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	193.5060375	0.91451625	65	65	100	-0.552644458	0.647878444	blue	3
360	211.0531757	0.818033902	72	72	100	-0.677276369	1.537144769	green	1
420	177.9108275	0.869478837	69	69	100	-1.485112449	0.650878431	blue	3
480	144.4737223	0.700686805	72	72	100	1.549592449	0.834312988	red	2
540	198.0642857	0.420547141	72	72	100	0.71970939	1.101418697	red	2
600	161.8332951	1.365308947	68	68	100	1.803376019	0.826540806	red	2
660	156.5991623	1.134208927	72	72	100	1.39844373	1.132817074	red	2
720	186.1108871	1.324966075	72	72	100	-0.354223108	1.449155351	blue	3
780	224.3990997	0.795115534	62	62	100	-0.120094457	1.362298527	blue	3
840	169.107907	1.162010987	60	60	100	2.094737308	0.875696103	red	2
900	130.0992494	1.381075384	69	69	100	-0.460998751	0.710031421	blue	3
960	121.4525134	1.194716251	67	68	98.52941176	0.247076733	0.491416821	red	2
1020	227.5799723	1.651916385	66	66	100	1.899281281	0.964361175	red	2
1080	138.1301361	1.388775715	68	69	98.55072464	-2.75407136	0.581430231	blue	3
1140	145.2326284	1.136626556	69	69	100	-0.319820597	0.933407718	blue	3
1500	165.2567273	0.608888912	52	52	100	0.222596221	0.622289583	red	2
1560	159.0416924	0.819968767	73	75	97.33333333	-0.115611512	0.682481167	blue	3
1620	124.4225917	1.121300165	71	71	100	-1.975034167	0.602586739	blue	3
1680	138.165506	0.992688143	70	70	100	0.561950335	0.623378755	red	2
1740	136.4308612	1.097837789	67	67	100	0.189765523	0.865366857	red	2
1800	85.20095442	1.707864236	77	77	100	-0.740670201	0.981700526	blue	3
1860	129.8517113	0.620696196	73	73	100	0.111768406	1.379193718	red	2
1920	345.5732482	0.756909291	70	70	100	-0.567498949	1.021407663	blue	3
1980	167.7932961	0.563606985	59	59	100	4.654744276	0.90599912	red	2
2040	108.819463	0.727063973	66	66	100	2.454513579	0.453126986	red	2
2100	152.5875122	0.991020188	63	63	100	-1.383369057	0.465701578	blue	3
2160	127.9548667	2.023309095	62	62	100	-0.603740599	0.773853796	blue	3
2220	258.9485533	1.273064251	74	74	100	0.717841927	1.085877602	red	2
2280	135.4695291	1.221444973	65	65	100	1.122636399	1.043211478	red	2
2340	172.4578305	0.994077963	71	71	100	2.51301951	1.430378668	red	2

表 7.34: システムの評価実験の結果 (被験者 B-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	286.0114807	1.143541142	43	43	100	-9.683956058	0.636287036	blue	3
360	315.9812592	0.898073008	50	50	100	8.813733559	0.430070109	red	2
420	265.6913005	0.68423926	44	45	97.77777778	4.887236758	0.667192021	red	2
480	270.3346471	0.925603789	49	49	100	-3.396042606	0.384956943	blue	3
540	245.177414	0.700720404	33	33	100	5.47801422	0.924356434	red	2
600	209.3057921	0.622463689	51	51	100	-9.711916516	0.697425869	blue	3
660	203.8026419	0.433510002	55	55	100	1.060574799	0.29261427	red	2
720	128.5952137	1.162732038	50	50	100	-3.227929094	0.435193488	blue	3
780	239.9894476	0.676541265	42	42	100	-0.765920615	0.729795408	blue	3
840	248.5974498	0.670307612	53	54	98.14814815	5.323443937	0.368311434	red	2
900	174.1648121	0.685994687	50	50	100	-9.422788439	0.608266766	blue	3
960	310.3322285	0.743204063	47	47	100	8.670251216	0.360112036	red	2
1020	278.5133543	1.160279534	53	53	100	4.840097785	0.703447173	red	2
1080	127.672898	0.614088454	50	50	100	-3.512705689	0.81711466	blue	3
1140	161.9410872	0.444936562	50	50	100	-9.259645669	0.454398555	blue	3
1500	282.3375909	0.558164714	50	50	100	-8.060939393	0.487235374	blue	3
1560	314.5282733	0.516239291	48	48	100	-2.739107919	0.513071745	blue	3
1620	290.199267	0.812510963	52	52	100	-3.559741415	0.545670413	blue	3
1680	184.6855493	0.66100311	41	41	100	-8.051318037	0.499627643	blue	3
1740	336.8618985	0.859770314	34	34	100	-1.782250825	0.395151626	blue	3
1800	238.9359373	0.446590116	48	48	100	-3.319868757	0.346268306	blue	3
1860	305.9483033	0.709284647	59	59	100	0.579941225	0.414528294	red	2
1920	275.1765195	0.481118148	51	51	100	-8.297272728	0.468594879	blue	3
1980	191.0712583	0.850787839	44	44	100	-4.090121194	0.288804296	blue	3
2040	256.2236181	0.320411865	40	40	100	-7.457148804	0.79074401	blue	3
2100	200.700297	0.482875133	47	47	100	-8.09775491	0.498386966	blue	3
2160	188.0779102	0.694330258	48	48	100	-5.606480207	0.410591133	blue	3
2220	271.3415138	1.016262824	54	54	100	0.645155589	0.30942716	red	2
2280	174.7591116	0.768384757	52	52	100	0.101889114	0.678846711	red	2
2340	342.4640762	0.775770815	62	62	100	7.46922882	0.53845075	red	2

表 7.35: システムの評価実験の結果 (被験者 B-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	70.37680241	0.916705401	38	38	100	0.410397993	0.946637871	red	2
360	96.22943463	0.828498303	37	37	100	-0.064879949	0.840210665	blue	3
420	88.15482027	0.931935884	32	34	94.11764706	2.520526006	0.819137318	red	2
480	96.72964231	0.757107621	37	37	100	0.50062111	0.842048951	red	2
540	90.14961859	0.395685574	35	35	100	-0.331054085	0.845833442	blue	3
600	101.9641665	0.624017869	35	35	100	-0.576162769	0.384247512	blue	3
660	101.9263903	0.738777225	34	34	100	0.391411795	0.363348243	red	2
720	116.0819906	0.43201601	36	36	100	-0.486246586	0.641030483	blue	3
780	115.9561167	0.550726003	34	34	100	-0.756398414	0.243716163	blue	3
840	105.9002648	0.536370391	34	34	100	-1.812635401	0.636392325	blue	3
900	121.8697029	0.47894275	38	39	97.43589744	-1.356860725	0.403973422	blue	3
960	141.3804755	0.702455285	46	46	100	-0.404662608	0.359801359	blue	3
1020	125.570046	0.937553414	35	35	100	0.295655127	0.68353259	red	2
1080	156.8043153	0.581455125	47	47	100	-0.531251847	0.663407017	blue	3
1140	138.1650818	0.641091542	33	33	100	-0.496528022	0.373763845	blue	3
1500	150.063427	0.706492576	50	50	100	-0.100449934	0.44527496	blue	3
1560	144.3475608	0.520061869	40	40	100	2.030410745	0.474292678	red	2
1620	147.4045098	0.551955441	39	39	100	0.912476496	0.479961107	red	2
1680	152.7745488	0.587374306	34	34	100	-2.643843662	0.461086806	blue	3
1740	150.5589178	0.623184419	47	47	100	0.515355931	0.692067112	red	2
1800	160.4012823	0.571014336	43	43	100	-0.138546216	0.392972265	blue	3
1860	135.784227	0.710055739	38	38	100	-0.327091909	0.409935563	blue	3
1920	114.2097699	1.132276164	40	40	100	-1.66611651	0.363371481	blue	3
1980	112.5800943	0.9520513	31	31	100	1.896363874	1.342550284	red	2
2040	184.4958106	1.484765713	31	31	100	-0.339093405	0.596282398	blue	3
2100	137.9669551	0.698394797	42	42	100	1.315461833	0.79801318	red	2
2160	140.854849	0.619509561	36	36	100	-3.694243293	0.578798325	blue	3
2220	140.4245688	0.806083962	31	31	100	0.556073342	0.578163366	red	2
2280	190.6677216	0.582325479	31	31	100	-1.662322257	0.382862124	blue	3
2340	154.2511286	0.497508832	36	36	100	-0.632349649	0.367700976	blue	3

表 7.36: システムの評価実験の結果 (被験者 B-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	174.6035243	1.245397148	75	75	100	-4.083302361	0.41020965	green	3
360	200.7421072	1.322992759	69	69	100	-0.164011128	0.643737709	green	3
420	207.0549087	1.705492206	58	58	100	-0.345986287	0.396931945	green	3
480	158.7442207	1.56981101	78	78	100	-5.343095996	0.619184597	green	3
540	254.3241363	1.189659894	64	64	100	-5.475543473	0.479428201	green	3
600	185.1385356	1.664283684	67	67	100	-0.436615171	0.580820485	green	3
660	256.4691914	1.491907225	69	69	100	-0.188408146	0.549384912	green	3
720	275.7623459	1.433811041	75	75	100	0.982868701	0.405990485	red	2
780	171.6167297	1.735463683	61	61	100	-4.537545021	0.439157238	green	3
840	242.4744349	0.966955807	77	77	100	-4.576809593	0.590930289	green	3
900	214.8466965	0.885037888	65	65	100	-1.517441753	1.024135761	green	3
960	103.1000384	2.438847288	76	76	100	3.606748119	0.795548363	red	2
1020	194.5086378	1.13628493	79	79	100	-4.060770137	0.578547383	green	3
1080	203.939747	0.904960439	64	64	100	0.472756646	0.671567968	red	2
1140	156.7510366	1.788246829	76	76	100	2.18530197	0.743024602	red	2
1500	237.0478417	1.172512261	65	65	100	2.223112003	1.25579274	red	2
1560	157.3536928	1.425269288	62	62	100	2.211934124	0.822828014	red	2
1620	153.0944693	1.282195567	70	70	100	-0.341258816	0.708659171	green	3
1680	189.1600894	1.042899772	66	66	100	-2.400535977	0.55255283	green	3
1740	153.723164	1.560015899	68	68	100	0.319087528	0.476440692	red	2
1800	141.3300208	1.681020413	71	71	100	-1.827806974	1.309451929	green	3
1860	201.080183	1.173391692	65	65	100	-0.585072626	0.486014156	green	3
1920	223.9574584	0.964496769	65	65	100	-3.39442999	0.687165182	green	3
1980	184.5442677	1.465362405	60	60	100	-1.777007412	0.405961538	green	3
2040	206.7007449	1.213714002	66	66	100	0.606086891	0.674394355	red	2
2100	170.2007044	1.186802735	76	76	100	0.309164107	0.466060429	red	2
2160	233.3018368	1.447904359	72	72	100	-3.47676566	0.54541926	green	3
2220	206.2141708	1.154764461	73	73	100	-0.424018063	0.447498058	green	3
2280	189.3864256	1.306198517	73	73	100	-2.321334061	0.40750963	green	3
2340	136.9763041	2.189060528	68	68	100	0.746068643	0.603657905	red	2

表 7.37: システムの評価実験の結果 (被験者 C-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	169.7784672	1.528971462	69	70	98.57142857	2.007479246	1.156499471	red	2
360	197.2353199	0.762217469	73	73	100	-1.67577504	1.220229886	green	3
420	210.0851286	0.810660557	72	72	100	-0.450466869	0.452737299	green	3
480	218.7719645	0.399438854	80	80	100	-1.660295951	0.7676365	green	3
540	200.2887555	0.81557071	75	75	100	-0.961477983	0.506298204	green	3
600	185.6604539	0.835390145	83	83	100	-5.949980818	0.347475289	green	3
660	183.8720461	0.900601682	87	87	100	0.032814353	0.642427725	red	2
720	137.3930755	0.98769085	81	81	100	-2.846556947	0.832129012	green	3
780	223.290847	0.900609471	62	62	100	-1.697546268	0.663091117	green	3
840	170.4235135	1.077310502	69	69	100	-3.151260973	0.987658095	green	3
900	199.690284	0.816014649	73	73	100	1.655339753	0.797173967	red	2
960	215.5989753	0.981313373	75	75	100	-1.553867427	0.414543563	green	3
1020	187.124049	0.917686371	75	75	100	1.283211861	0.797097265	red	2
1080	190.6881406	1.165361704	69	69	100	-2.03767054	0.879590223	green	3
1140	161.8561523	0.801332003	75	75	100	-7.50108822	0.996381922	green	3
1500	168.0616458	1.236627246	64	64	100	7.393937436	1.211028714	red	2
1560	151.5754376	1.018015083	60	60	100	2.200412901	1.247745051	red	2
1620	171.4133251	0.723319098	66	66	100	-1.256669077	0.581303666	green	3
1680	135.9126825	1.071414173	67	67	100	-0.057379198	0.868004209	green	3
1740	158.8286154	1.151412577	78	78	100	-1.615282084	1.027832443	green	3
1800	127.8888367	1.659468309	74	75	98.66666667	0.273110993	0.720723303	red	2
1860	158.1532992	1.410062669	75	75	100	-0.292066813	1.353384131	green	3
1920	157.7604865	1.063828276	75	75	100	0.870493849	1.54392957	blue	1
1980	140.3057273	1.264564005	62	62	100	-3.36337796	0.857489638	green	3
2040	220.3999699	0.924607313	88	88	100	-3.599934048	0.989256073	green	3
2100	165.9943222	1.327527278	86	86	100	0.585167836	1.185698799	red	2
2160	177.9355083	0.789252549	82	83	98.79518072	-0.698126557	0.884075087	green	3
2220	232.6737912	0.892220007	79	79	100	-1.710055472	0.870422967	green	3
2280	135.942349	1.392029176	83	83	100	-0.109473991	0.83637968	green	3
2340	208.1054769	1.544304566	86	86	100	-2.655264871	0.950559417	green	3

表 7.38: システムの評価実験の結果 (被験者 C-実験 2 回目)



minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	222.2570292	1.149283695	69	69	100	-0.46868752	0.980861672	green	3
360	157.2763085	2.091567329	63	63	100	-2.664958813	0.509266603	green	3
420	222.6954608	1.086645023	75	75	100	-1.789525556	1.87223479	blue	1
480	147.537979	1.367134624	68	68	100	4.507818199	0.620779438	red	2
540	259.958206	1.155926837	70	70	100	-0.677334051	0.478472627	green	3
600	217.244665	0.894264629	68	68	100	4.020452623	0.664883659	red	2
660	169.7602678	2.102137362	71	71	100	2.132518338	0.538988273	red	2
720	222.7299564	1.201379796	72	72	100	-3.200584469	1.698483496	blue	1
780	250.5895221	1.169653564	63	63	100	1.372524082	0.579440045	red	2
840	233.7738369	1.542436676	74	74	100	-3.88497038	1.042474432	green	3
900	221.4952772	1.167018232	73	74	98.64864865	-3.253301292	1.122378434	green	3
960	250.934107	1.536281743	73	73	100	-4.352771591	0.869937551	green	3
1020	153.1308054	1.716641551	75	75	100	-1.08067052	0.523407386	green	3
1080	333.9014334	1.219989894	72	72	100	NaN	NaN	NaN	NaN
1140	182.0501887	1.679059515	73	73	100	-4.288630777	1.340520723	green	3
1500	256.7610308	1.472421485	68	68	100	0.23193239	0.39991007	red	2
1560	175.5188722	1.536695	75	75	100	2.330524318	0.645667323	red	2
1620	250.7900547	1.240502062	75	75	100	-2.560218934	0.9391894	green	3
1680	286.7500747	1.376383078	83	83	100	1.620575087	0.742289495	red	2
1740	269.2121732	0.688474313	76	76	100	-1.071886712	0.387466469	green	3
1800	388.0581042	0.787323467	83	83	100	-1.207090758	0.497200308	green	3
1860	278.3516864	0.903613104	74	75	98.66666667	2.554068556	0.396635464	red	2
1920	173.455526	1.427304671	78	78	100	2.959270044	0.432720903	red	2
1980	214.495768	1.487808042	63	63	100	-4.249463479	1.025326595	green	3
2040	248.3730546	1.200020885	79	79	100	-2.482838278	0.580175381	green	3
2100	202.6722455	1.281060615	75	75	100	-0.483948861	0.580645908	green	3
2160	322.1235945	1.064901642	77	78	98.71794872	0.988142032	0.542196697	red	2
2220	259.1610246	1.082869403	74	74	100	-3.138135847	0.367332051	green	3
2280	301.7581138	0.886375664	80	80	100	-2.063816206	0.737953055	green	3
2340	275.7886232	0.650658717	82	82	100	1.216618598	0.46046417	red	2

表 7.39: システムの評価実験の結果 (被験者 C-実験 3 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	136.984805	1.779930621	76	76	100	5.961176507	1.453964563	red	2
360	180.7116558	1.380434797	67	67	100	4.702532357	1.433638955	red	2
420	178.6509962	1.207486216	62	62	100	4.045776724	1.016520709	red	2
480	229.4969036	0.939261048	70	70	100	0.269938259	0.806983617	red	2
540	135.8316178	1.307077988	80	80	100	0.516831842	0.998013211	red	2
600	139.7510158	0.843494619	72	72	100	-2.052086367	0.886752706	green	3
660	174.2802444	1.011322556	74	75	98.66666667	-1.992510678	0.801180478	green	3
720	197.430958	1.086378547	69	69	100	-1.807068227	0.909029422	green	3
780	173.0555994	1.098908093	76	76	100	2.464701064	1.097218405	red	2
840	195.8316006	0.940792065	73	73	100	-4.879250661	0.812199976	green	3
900	173.2954501	1.067092557	71	71	100	-2.569921574	0.833423187	green	3
960	142.4605087	1.458564366	78	79	98.73417722	0.077780548	1.042687112	red	2
1020	156.2793655	1.524392321	70	70	100	-0.735154736	1.021297092	green	3
1080	234.3194924	0.87199388	84	84	100	-0.931186851	1.507089167	blue	1
1140	202.8774981	0.984475331	87	87	100	0.487878787	0.805638955	red	2
1500	153.1933546	1.530492601	82	82	100	-6.23414577	1.543684075	blue	1
1560	240.1230165	1.21324408	75	75	100	4.692771898	1.382754358	red	2
1620	189.8561651	1.135586235	82	82	100	7.976444304	0.862825058	red	2
1680	182.3904171	1.326883752	81	81	100	4.029218185	0.978622524	red	2
1740	155.9844599	1.169286012	86	87	98.85057471	1.887147529	1.186084609	red	2
1800	209.8655668	1.392662543	77	77	100	0.597431363	0.769934512	red	2
1860	182.3687778	0.942450942	77	77	100	-3.316083053	1.36268832	green	3
1920	110.5789248	1.699166571	83	83	100	0.087682355	0.666280316	red	2
1980	256.6398643	0.989188995	69	69	100	3.273556119	1.313747551	red	2
2040	151.7163997	1.114734218	76	77	98.7012987	0.831465006	1.011340782	red	2
2100	160.418123	1.814367149	79	79	100	-1.878821651	0.79007145	green	3
2160	164.6138445	0.911984517	75	75	100	-0.053422603	1.506862827	blue	1
2220	171.5995322	0.856769527	71	71	100	1.530368023	0.50263672	red	2
2280	231.6940828	0.929878354	83	83	100	1.047393508	0.600191917	red	2
2340	168.9912953	0.937434892	86	86	100	-3.337050315	0.989043621	green	3

表 7.40: システムの評価実験の結果 (被験者 D-実験 1 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	128.0352768	0.875559108	77	77	100	-0.011532758	1.111950352	green	3
360	149.6889951	0.861632637	81	81	100	0.557014319	0.862186316	red	2
420	146.5976206	0.569474832	73	73	100	-0.723100166	0.986424932	green	3
480	140.7974615	0.743643434	79	79	100	-0.235706476	0.717129468	green	3
540	149.2838636	0.820709403	85	85	100	0.430155751	0.746886345	red	2
600	133.2690243	0.943120271	85	85	100	0.363921325	0.939073587	red	2
660	150.4788628	1.010479163	79	79	100	-2.736408877	0.907786728	green	3
720	133.1936429	0.968339433	78	78	100	1.681561213	1.190095248	red	2
780	187.7967257	0.61743881	80	80	100	0.608526071	1.113634301	red	2
840	150.3292319	0.579144604	82	83	98.79518072	-1.279359221	0.64620625	green	3
900	132.4271623	1.059962622	86	87	98.85057471	-1.910083764	0.735978905	green	3
960	125.0327058	0.679432576	84	84	100	0.565941075	0.926111311	red	2
1020	131.7199837	0.679601399	86	86	100	1.225784616	0.807726056	red	2
1080	140.7132099	0.883672616	90	90	100	0.551020804	0.523229692	red	2
1140	171.3185649	1.818645787	90	90	100	0.313753432	1.074715211	red	2
1500	210.092449	0.694723649	84	84	100	1.017389214	0.683067833	red	2
1560	216.0878886	0.635228368	83	83	100	-2.626317342	0.820343663	green	3
1620	221.7743027	0.58539379	84	84	100	2.682389188	0.643809388	red	2
1680	222.0782708	0.585578087	90	90	100	1.515307409	0.630545648	red	2
1740	182.8730138	0.793893654	89	89	100	-0.918132356	0.63116649	green	3
1800	154.6941499	0.952269744	82	82	100	-0.43446502	1.016867592	green	3
1860	152.5148648	0.572084977	88	88	100	1.502004006	0.895735413	red	2
1920	144.579856	0.735490847	85	86	98.8372093	1.469155464	0.623066434	red	2
1980	179.3085639	0.600874022	82	82	100	1.396182776	0.901021138	red	2
2040	185.3422066	0.915262517	84	84	100	0.540831548	0.444438752	red	2
2100	147.8110671	0.880147318	82	82	100	0.826303228	0.929328381	red	2
2160	194.0921095	0.647347634	85	85	100	1.164154799	0.667620612	red	2
2220	181.3097603	0.685794206	84	84	100	-0.597821373	1.080207146	green	3
2280	168.388041	0.897742807	78	78	100	-0.056410361	0.622214488	green	3
2340	195.1400026	0.661434168	94	94	100	0.198357852	0.978436456	red	2

表 7.41: システムの評価実験の結果 (被験者 D-実験 2 回目)

minutes	HfAverage	LfHfAverage	CA	AA	P	SloopOfHF	AverageOfLF/HF	Color	Color-number
300	129.4394138	1.976268482	82	82	100	-12.11991568	1.662814926	blue	1
360	163.9897906	1.512278535	76	76	100	-3.4760408	1.757665483	blue	1
420	175.621582	1.564267463	73	73	100	2.656441143	1.663172373	blue	1
480	144.9155254	1.793543196	75	75	100	-0.826836388	0.948279668	green	3
540	167.8043571	0.730551121	79	79	100	1.630403389	1.299953267	red	2
600	143.0781557	1.451728363	75	75	100	1.618387015	0.83442691	red	2
660	202.9357736	1.041711884	89	89	100	1.124006516	0.902794483	red	2
720	209.7486638	0.625626065	64	65	98.46153846	1.341795989	1.222215265	red	2
780	305.3265315	0.951072729	72	72	100	-3.087653483	0.489550189	green	3
840	258.2520817	1.061542473	78	78	100	-0.457044734	0.780272116	green	3
900	193.8103633	0.886608216	86	86	100	2.678455812	0.961396585	red	2
960	188.8498669	0.995273389	70	70	100	3.866771702	0.649509611	red	2
1020	284.9324044	1.190995838	82	82	100	-1.020141691	0.673334507	green	3
1080	248.3425122	1.172099339	63	64	98.4375	2.523656975	0.845649352	red	2
1140	171.4964377	1.080685875	70	70	100	-2.505930147	0.821989913	green	3
1500	238.34473	0.96816821	88	88	100	2.679180451	1.765064519	blue	1
1560	229.0082116	1.268860075	84	84	100	0.041596449	1.051209943	red	2
1620	265.9237381	0.669109764	97	97	100	0.633645961	0.790681296	red	2
1680	127.8574105	1.170333634	96	96	100	-0.221036224	0.752059649	green	3
1740	160.5246624	1.271134443	100	100	100	0.516070246	0.576508325	red	2
1800	247.346238	0.874408028	100	100	100	0.37676327	0.701046194	red	2
1860	174.181885	1.12644175	95	95	100	-4.424064684	0.65436964	green	3
1920	155.3334699	1.560853033	93	93	100	0.538621238	0.807967549	red	2
1980	184.3068732	1.781330184	91	91	100	-3.18280961	0.953015891	green	3
2040	205.6601452	0.577321028	95	95	100	-6.420530598	1.233565997	green	3
2100	215.5299072	0.646225594	84	84	100	-4.859836257	0.481008864	green	3
2160	215.4232035	1.025208246	100	100	100	3.291359853	0.527805689	red	2
2220	203.8927347	1.40227096	90	91	98.9010989	-2.678844163	0.541134184	green	3
2280	266.5286537	0.911105597	94	94	100	1.695137119	0.859709351	red	2
2340	253.4933182	0.895092121	99	100	99	1.060612002	0.61040396	red	2

表 7.42: システムの評価実験の結果 (被験者 D-実験 3 回目)