エネルギー科学研究科

エネルギー社会・環境科学専攻修士論文

題目： 生理心理指標を用いた ワークプレースプロダクティビティの 統合的評価に関する基礎研究

指導教員： 吉川 榮和 教授

氏名： 河内　美佐

提出年月日： 平成17年2月9日(水)

目 次

第 1 章 序論 **1**

第 2 章 研究の背景と目的 **3**

2.1 研究の背景 3

2.2 Work Place Productivity に関する既往研究と課題 5

2.2.1 プロダクティビティの概念と定義 6

2.2.2 プロダクティビティの評価手法 8

2.2.3 プロダクティビティに影響する環境要因 14

2.3 本研究の目的 15

第 3 章 プロダクティビティの評価法の提案 **17**

3.1 プロダクティビティの定量的評価手法 17

3.2 パフォーマンステストの開発 17

3.2.1 人の知的能力の分類 17

3.2.2 オフィス調査 18

3.2.3 テストセット設計の指針 20

3.3 オフィスワークのもたらす心理的・生理的影響の生理心理指標による評価 34

3.3.1 メンタルワークロード 34

3.3.2 疲労 36

3.3.3 覚醒度 37

3.4 主観的評価手法 37

第 4 章 統合的評価方法確立のための基礎実験 **40**

4.1 実験の目的 40

4.2 実験計画 40

4.2.1 環境条件 40

4.2.2 被験者 41

4.2.3 計測項目 41

4.2.4 実験手順 44
4.3 実験の実施と結果の考察 45
4.3.1 実験日時と場所 45
4.3.2 実験結果 45
4.3.3 考察 53

第 5 章 プロダクティビティ統合評価指標の提案 56
5.1 プロダクティビティ評価モデルの提案 56
5.1.1 モデルの構築 56
5.1.2 モデルに対する考察 59

第 6 章 結論 60

謝 辞 62

参 考 文 献 64

付録 A 計測機器の仕様と外観 67
A.1 アドバンスドメディカル社製指輪型パルスオキシメータ AD7011 67
A.2 アドバンスドメディカル社製生体情報通信端末 AD9010 67
A.3 GRAMCorpration 製サーミスタ LT8A 67
A.4 竹井機器工業製フリッカー値計測器 2 型 501BTKK 69
A.5 MATROX 製高速カメラ CV A33CL 69
A.6 マルチメータ 71
A.7 東京光電株式会社製照度計 ANAF11 71

付録 B 瞬目による覚醒度推定のための基礎実験 74
B.1 実験の目的 74
B.2 実験方法 74
B.2.1 実験手順 74
B.2.2 取得瞬目指標 74
B.3 結果と考察 76

図 目 次

2.1 事業所における単位広さあたりの電力使用量の推移と内訳 3
2.2 従業員の労働生産性 3%向上時の経済効果 5
2.3 Woods らによる拡張モデル 7

3.1 オフィス作業者に対するアンケートの結果 20
3.2 口頭理解能力テストの概念図 22
3.3 書面理解能力の問題呈示画面 23
3.4 書面理解能力の回答画面 23
3.5 口頭表現能力のテスト画面 25
3.6 文章表現能力のテスト画面 26
3.7 記憶能力テストの問題呈示画面 27
3.8 状態遷移規則の例 27
3.9 記憶能力テストの回答画面 28
3.10 数学的推論能力のテスト画面 29
3.11 演繹的推理能力のテスト画面 30
3.12 帰納的推理能力のテスト画面 31
3.13 情報秩序化能力のテスト画面 32
3.14 認知速度 (数字) のテスト画面 33
3.15 認知速度 (パターン) のテスト画面 34
3.16 時分割能力のテスト画面 35
3.17 心拍活動 36

4.1 マーカ貼り付け位置 43
4.2 瞬目波形 43
4.3 実験手順 44
4.4 実験室 45
4.5 タスクパフォーマンス結果（被験者 A） 48
4.6 タスクパフォーマンス結果（被験者 B） 50

4.7 タスクパフォーマンスの加重平均結果（a）被験者 A,（b）被験者 B . . 50
4.8 フリッカー値変動率（a）被験者 A,（b）被験者 B 51
4.9 作業中平均心拍（a）被験者 A,（b）被験者 B 51
4.10 瞬目結果（closing time）（a）被験者 A,（b）被験者 B 52
4.11 アミラーゼ検査結果（a）被験者 A,（b）被験者 B 52
4.12 自覚症状調べ総得点（a）被験者 A,（b）被験者 B 53
4.13 SAP による作業効率調査結果（a）被験者 A,（b）被験者 B 53

5.1 モデル 1：プロダクティビティ経済指標とプロダクティビティ，コストの関係 56
5.2 モデル 2：作業効率に影響する生体負荷と心理状態 57
5.3 モデル 3：各要素への環境の影響 57
5.4 プロダクティビティ評価モデル 58

A.1 パルスオキシメータ 67
A.2 生体情報通信端末 69
A.3 サーミスタ 69
A.4 フリッカー値測定器 71
A.5 高速カメラ 71
A.6 マルチメータ 72
A.7 照度計 72

B.1 加算タスク 75
B.2 覚醒度推定実験の様子 75
B.3 瞬目パラメータ 76
B.4 瞬目による覚醒度推定の実験結果 76

表 目 次

2.1 PAB 10
2.2 計測項目と尺度構成（BOSTI 質問票） 13
2.3 環境要素の経済価値 14
2.4 プロダクティビティに影響する環境因子 14
2.5 SAP における評価項目 16

3.1 ヒューマンアビリティによる知的能力分類 19
3.2 口頭表現能力のテストの採点基準の一例 24
3.3 文章表現能力のテストの採点基準の一例 25
3.4 自覚症状調べ 38

4.1 実験における環境条件 41
4.2 実験実施順 45
4.3 室内環境 46
4.4 タスク結果一覧 47
4.5 オフィス作業における作業能力の重要度 [%] 49

A.1 パルスオキシメータの仕様 68
A.2 情報通信端末の仕様 68
A.3 サーミスタ仕様 70
A.4 フリッカー値測定器仕様 70
A.5 高速カメラ仕様 70
A.6 マルチメータ仕様 72
A.7 照度計の仕様 73

第 1 章 序論

8 世紀末から 19 世紀初めにかけての産業革命以来，我々は大量生産・大量消費の道を駆け上ってきた．食料生産の増大と医療の進歩は人口爆発を引き起こし，余りにも急速に大きく発達した我々の活動は，一部の自然の自己回復能力をはるかに越え，現在，地球規模の環境の変化を引き起こしつつある．近年,「エネルギー問題」「環境問題」という言葉をよく耳にするが，これらの問題は我々が行ってきた大量生産・大量消費の生活が生み出した弊害である．

石油などのエネルギー資源の枯渇，二酸化炭素などの温室効果ガスによる地球温暖化の問題は，こうした「エネルギー問題」,「環境問題」の中でも大きく取り上げられている．中でもエネルギー問題は，現在我々が最も依存している石油エネルギー源が数十年後には枯渇の危機を迎える．また，地球温暖化問題では，地表の温度が上昇し，海水面の上昇，異常気象の増加，砂漠化の進行，水不足，マラリアなどの熱帯性の感染症発生数の増加などの悪影響を及ぼすと懸念されている．その抑制のために，地球温暖化ガスの排出量削減が急務とされており，世界各国で様々な対策がとられている．現在大気中に排出されている二酸化炭素のうち，約 3 分の 1 は発電など，エネルギー変換によるものであるという調査報告がある [1]．そこで，原子力発電や太陽光発電，水力発電といった二酸化炭素排出量の少ない発電手法への切り替えが進んでいるが，エネルギー需要量は年々増え続けており，化石燃料による発電によるエネルギー供給を停止するわけにはいかない状態である．そこでエネルギー需要の削減が必要とされている．

このような問題解決の手段の一つとして省エネが頻繁に取りあげられており，多くの企業や公的機関で実践されている．省エネの手段としては，様々な方法が存在しているが，中でも空調・照明に用いられる電力量の削減が最も簡単かつ効果的であるとして，実践している企業も多い．一般的なオフィスビルの電力使用量のうち，空調に使われている電力は 20〜30%を占めるといわれており [2]，夏季（外気温 30 ℃）において空調の設定温度を 1 ℃上げると 10%のコスト削減が可能とされている [3]．

しかし，単純なコスト削減を目的とした省エネルギーでは，室内環境を悪化させ弊害が発生する場合も考えられる．

1894 年の Brill ら [4] の研究報告以降，室内環境の改善を行うことにより，プロダク

ティビティ（例えば，オフィス労働者の生産性や学校生徒の学習能力）を高めようとする研究が欧米を中心に盛んに行われており，近年わが国でも注目を集めている．これまでの研究結果からプロダクティビティに影響を与える環境要因として，空気質，温熱環境，音環境，環境の個別コントロール，光環境が重要であることが明らかにされている [5]．

これらの報告から，現在省エネの対象となっている照明や空調が人間のプロダクティビティに与える影響は大きく，コスト削減等のために行っているはずの省エネ行動が，かえってワーカの作業能率に悪影響を及ぼし，プロダクティビティを減少させ，結果的にコストを増大させることも考えられる．これらのことから，オフィスワーカのプロダクティビティを減少させることなく，省エネを実現する室内環境を求める必要がある．そのためにはまずプロダクティビティを定量的に求めることが必要とされる．しかし，オフィスワーカの仕事内容は多岐にわたっており，業務内容を直接計測し，作業効率を求めることは困難である．そこで擬似タスクを用いる手法，ワーカの主観によって評価する手法，生理心理指標によって評価する手法などが提案されてきたが，それぞれに問題点が存在し，明確に確立された評価手法は存在しない．　そこで，プロダクティビティ評価に不可欠である作業効率を，定量的かつ客観的に評価することを目的として研究を行った．本研究ではまず，オフィスワーカに対するヒアリングの結果からタスク分析を行い，業務を能力毎に分解し，その重要度を求めた．またそれらの能力のパフォーマンスを定量的に計測できるパフォーマンステストの開発を行った．そして，生理心理指標と主観評価から長期的な生体負荷を推測し，実証実験の結果からこれらとパフォーマンスとの相関性について考察した．更にプロダクティビティを定量的かつ客観的に評価するための評価用モデルを提案し，パフォーマンス，生理心理指標，主観評価の 3 側面から統合的にプロダクティビティを評価する手法を開発した．

本論文では，本研究の詳細を以下のように述べる．第 2 章では，本研究の背景および目的，並びにこれまで行われてきた研究の成果と問題点について，第 3 章では，オフィス調査に基づく，パフォーマンステスト設計について述べる．第 4 章では，被験者を対象とした作業効率評価実験について述べ，第 5 章では，実験の結果をもとに，統合的に作業効率を評価するためのモデルを構築し，プロダクティビティの統合的評価手法の提案を行う．最後に，第 6 章では，本研究を総括し，本研究で判明した結果と今後の課題について述べる．

第 2 章 研究の背景と目的

本章では，研究の背景について述べ，プロダクティビティに関する既往研究についてとりまとめ，その問題点を明らかにする．最後に本研究の目的と位置付けについて述べる．

2.1 研究の背景

近年，COP3 をはじめとする環境問題に対する社会的要請やコスト削減，および建物資産価値向上のために多くの企業や公的機関で省エネルギーへの取り組みがなされている．省エネの手段としては様々な方法が存在しているが，中でもオフィスビル等においては空調・照明に用いられる電力量の削減が最も簡単かつ効果的であるとして，実践している企業も多い．一般的なオフィスビルの電力使用量のうち，空調に使われている電力は 20〜30%を占めるといわれており（ Fig. 2.1 ）[2]，夏季（外気温 30 ℃）において空調の設定温度を 1 ℃上げると 10%のコスト削減が可能とされている [3].

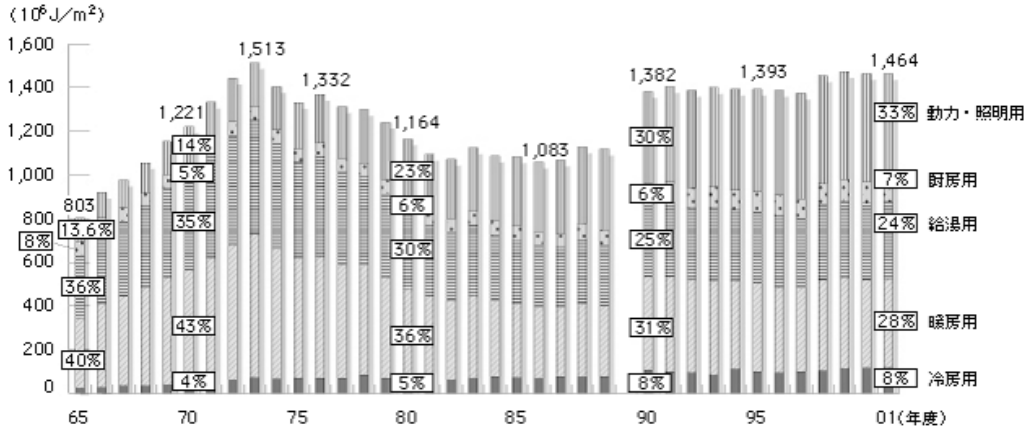

Fig. 2.1: 事業所における単位広さあたりの電力使用量の推移と内訳

しかし，単純なコスト削減を目的とした省エネルギーでは，室内環境を悪化させ弊害が発生する場合も考えられる．Fanger[6] は 1000 人以上の被験者を対象に，室内環境と温熱感との相関について調査し，室内環境要素（室温，輻射温度，気流，湿度，人の活動量，着衣量）から－3（寒い）〜＋3（暑い）の温熱感を算出する手法を開発し

た．この値は Predicted Mean Vote：PMV（平均予想温冷感申告）という指標として ISO7730 で定められている．この値が 0 に近いほど，多くの人が快適に感じるというわけである．この指標から，多くの人が快適とされる温熱環境は 25 ℃（PMV0.01* ，PPD** 0.05%）となる．また，ISO7730 では PPD の値が 10 %以下，すなわち PMV の値 0.5 未満の職場環境を推奨している．しかし，政府は空調設定温度に冷房時 28 ℃（PMV1，PPD26.1%），暖房時 20 ℃（PMV-1.59，PPD55.8%）を推奨している．これらの環境下では冷房時に約 4 人に 1 人，暖房時に約 2 人に 1 人は不満を持つことが予測され，それが業務に対し影響を与えることが懸念される．

一方，1894 年の Brill[4] らの研究報告以降，室内環境の改善を行うことにより，プロダクティビティ（例えば，オフィス労働者の生産性や学校生徒の学習能力）を高めようとする研究が欧米を中心に盛んに行われており，近年わが国でも注目を集めている．一般に人件費はビルの保全・運用経費に比べ遥かに大きい．そのためプロダクティビティの向上はたとえ数%であってもその金額換算値は大きな数字になるとする報告が数多くある．Lomonaco ら [7] は 10000 平方フィートのオフィスビルで従業員の生産性が 3%上昇した場合，その金額メリットは年間 58508 ドル*** となり，その投資回収期間は 0.68 年になると試算している．これをもとに，橋本ら [8] は日本の実態 [9]† に置き換え再計算している．その結果を Fig. 2.2 に示す.

また，Fisk[10] は，室内環境改善による疾病の減少と作業効率上昇の結果として達成される経済効果は米国全体で 400〜2000 億ドル/年（4〜20 兆円/年）になると試算している．その内訳を以下に示す.

呼吸性疾患の減少	60 〜 140 億ドル/年
アレルギーと喘息の減少	20 〜 40 億ドル/年
シックビル症の減少	100 〜 300 億ドル/年
作業効率の向上	200 〜1600 億ドル/年

これらの報告から，オフィスビル等においては単なるコスト削減・省エネルギーを目的とした環境改善では不十分であり，よりよい環境改善により投資効果をあげる

* 輻射温度＝室温，気流 0.1m/s，湿度 50%，活動量 0.1Met，着衣量 0.7clo で算出

** Predicted Percentage of Dissatisfied：予想不満足者率

*** 従業員給料の総額を 195026 ドル（占有面積 154 平方フィート/人，平均給料 30004 ドル/人・年）とし，これにプロダクティビティ向上率 3%を乗じて算出

† オフィス実態調査をもとに，占有面積を 6 平方メートル/人と 12 平方メートル/人，平均給料は 200〜600 万円/年として計算

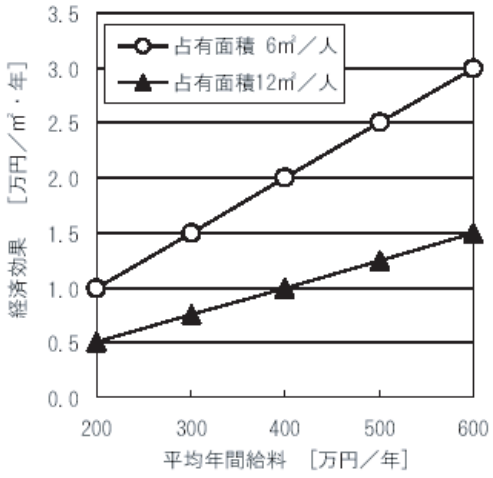

Fig. 2.2: 従業員の労働生産性 3%向上時の経済効果

仕組みが望まれている．

これらのためには，オフィスにおける生産性を定義し，定量的に評価する仕組みが不可欠である．このため昨今，米国を中心にその研究が活発になってきているが，次節に記すように未だ明確な評価方法は確立していないのが現状である．

2.2 Work Place Productivity に関する既往研究と課題

オフィスにおける執務者の生産性は，Work Place Productivity（以下，プロダクティビティ）として米国を中心に 20 年以上前から盛んに研究されており，たとえばアメリカの Lawrence Berkeley 国立研究所らが参画する Indoor Health and Productivity プロジェクト [11] では，1000 件を超えるオフィスデザインや室内環境とプロダクティビティに関する文献タイトルなどを格納したデータベースを構築・公開している．また Brill[4] らはオフィスデザインとプロダクティビティとの関係について，はじめて大規模な調査を行い，その結果をまとめている．この研究報告以降，プロダクティビティに対する人々の関心が集まり，その効果を検証することを目的とした研究が増えている．

本節では既往研究におけるオフィス生産性の定義と評価法についてまとめ，その課題を議論する．

2.2.1　プロダクティビティの概念と定義

現在，プロダクティビティの定義には様々なものが存在する．その代表的なものが労働生産性 [12] である．これは一定期間内に生み出された財・サービスのアウトプットの量を労働者数で割ったものと定義されている．しかし，この定義は職種によりアウトプットの捉え方が様々であり，汎用的な尺度とするには一層の議論が必要である．

またプロダクティビティを執務者の状態から捉えようとする試みもなされた．NEMA[13] は執務者が以下のような状況のときを，プロダクティビティが良好なときであると説明した．

・より正確に作業が行える
・正確性を損なうことなく，より速く作業が行える
・疲れずにより長く作業が行える
・より効果的に学ぶことができる
・より創造的である
・より効果的にストレスに耐えうる
・より協調・協力して働きうる
・予知しない状況によりよく対処できる
・より健康的であると感じる，それにより作業に多くの時間を費やせる
・より多くの責任を受け入れられる
・要求に対してより積極的に応じる

しかしこの捉え方では，執務者の状態を定量的に評価することが困難であり，プロダクティビティ評価としては実用に耐えない．

また Woods と Sensharma ら [14] は，過去の文献をもとにプロダクティビティに影響を与える要因を分析し，Fig. 2.3 に示すモデルを提案している．この中で彼らはプロダクティビティを，在室者の作業効率を経済指標に変換したものと捉え，同図に示すように作業効率と関連コスト要因により決定されると説明し，例として作業効率の金額換算値と関連するコスト要因の比で表すことを提案している．

Fig. 2.3 に示したモデルには設備や建築物システムが室内環境などの諸要因を変化させ，居住者の心理，生理的反応に影響を及ぼし，作業量や作業効率を左右する構造が示されている．居住者の反応はまた，居住者自身の特性や生得的な属性（例えば性別など），順応や適応，体調など個人的要因からも大きな影響を受けるとしている．一

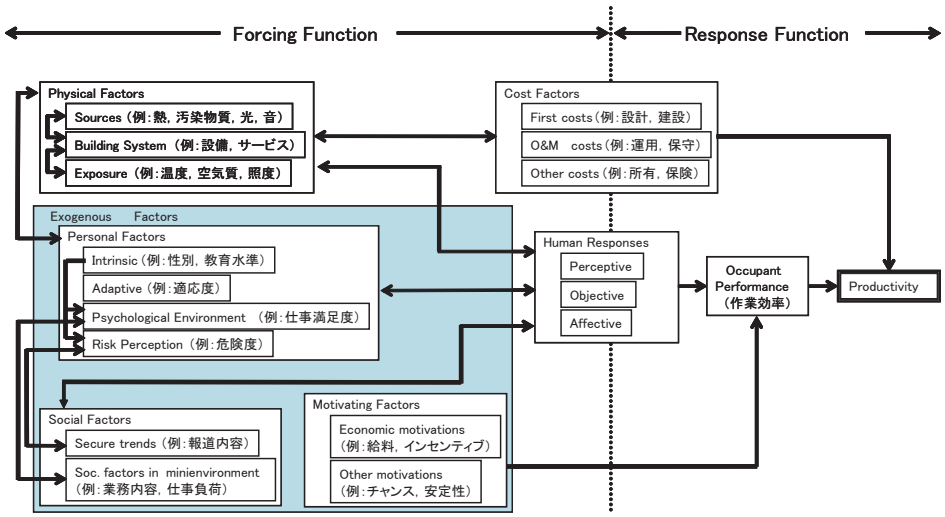

Fig. 2.3: Woods らによる拡張モデル

方で，ブルーカラーワーカ[††] かホワイトカラーワーカ[†††] かなどの職種，管理職，専門職／技術職，事務職などの仕事の種類，気分やモチベーションなどもプロダクティビティを考える上で必要な要因としている．

わが国では近年になり橋本ら [8] がプロダクティビティに関する既存研究をまとめ，その定義の明確化を行っている．彼らはプロダクティビティを建物オーナーや企業経営者のための経済指標，つまり室内環境改善に対する投資判断や投資効果を確認するための指標と解釈している．そしてそれを Woods ら [14] が示したように，作業効率の金額換算値を関連するコスト要因で割ったものと定義している．また，その要因である作業効率については，NEMA[13] などの見解を踏まえ，単に作業速度や精度だけでなく，疲労やシックビル症などに起因する健康不良や欠勤，環境や仕事に対する満足度を反映させたものが適切であるとしている．もうひとつのコスト要因については人件費やエネルギー費や保全費などを計測・集計したものを用いるとしている．

このように，プロダクティビティの定義はいまだ統一的な見解に集約されるには至っておらず，執務効率的捉え方，経済指標的捉え方に大別されている．

実用上，経済指標としての捉え方も必要であると考えられるが，その評価を行うためにも，また投入コストに関わらずオフィス環境そのものを評価するためにも執務効率的な評価が不可欠である．

そこで本研究では，知的作業を含めたオフィス作業の効率を”プロダクティビティ”

[††] 肉体労働者

[†††] 知識労働者，事務員など

上述の経済指標を，”プロダクティビティ経済効果指標”とし，区別する．ここでプロダクティビティ経済効果指標は，Woods, 橋本らの定義と同様にプロダクティビティの金額換算値を関連するコスト要因で割ったものとする．

2.2.2　プロダクティビティの評価手法

プロダクティビティを正確に評価するには，作業量や作業効率を直接計測することが望ましい．計測対象がブルーカラーワーカの場合，単位時間当たりの作業量やその精度を比較的容易にコスト換算することができる．しかし，ホワイトカラーワーカを対象とした場合，そのアウトプットはアイデアなど創造的なものもあり，その定量的評価は困難である．本節ではこれまでに提案されてきたプロダクティビティ評価手法とその問題点について述べる．

（1）タスクあるいはパフォーマンスの直接計測

いわゆる知的生産性についても，作業量や作業効率が直接的に計測可能なケースも存在する．橋本ら [8] は，ASHIRAE1992Workshop on IAQ において挙げられた計測項目を参考に以下のような計測項目を列挙している．

- 作業スペースでの不在状況
- 作業時間あるいは作業の停止時間（休憩や中断）
- 自発的な残業時間
- 疾病率の推移（病欠など）
- あるプロセスに必要とする作業時間
- 商品生産数
- 売り上げあるいは利益
- 製品やサービスあたりのトータルユニットコスト
- 医療費削減による利益／健康管理費
- 新規得意先開拓数

- 退職率・転職率の推移，再雇用，教育費負担
- （学校を対象とした場合）出席率，全国的テストの平均点

また，実際に測定および評価を行っている例も見られる．Fisk[15] は，病院のコールセンターにおいて，コールに対する平均処理時間を測定し，換気量およびその他要因との関係について検討を行っており，換気量の非常に高い状態の時に作業効率が 2%上昇し，高温環境では作業効率の低下が認められたと報告している．その他にも，Kroner[16] は，保険引受業務部門に対して個人毎に制御された環境システムを導入した効果を，一定期間中に作成されたファイル数の測定結果から評価する試みを行っている．その結果，個別システム単独のプロダクティビティへの影響は 2%程度と報告している．

これらのアプローチは，アウトプットが定量的に測定可能な場合には有用である．一方で，単純な繰り返し作業をほとんど含まず，創造性を問われるようなケースについては，様々な評価法が提案検討されているが，統一した見解は未だに見られていない状況にある．

（2）タスク負荷による仮想的パフォーマンスの測定

仮想的パフォーマンス測定とは，測定，定量化が可能な作業を与え，その測定値からプロダクティビティ効率を推定する方法である．中でも最も一般的に用いられる方法は，テキストタイピング作業である．これは例文テキストと同じ文字をタイプする作業であるが，上手な文を作成するといった作業に比べ，創造的要素を反映しているとは言い難い．Wargocki ら [17] は，空気質を左右する汚染物質量，換気量とテキストタイピングなどからなる作業成績との関係を検討し，定量的な関係を得ている．一方，コンピューターを用いて，知覚，判断など，脳の高次の働きをテストするタスクも考案されている．その代表として挙げられるのが Walter Reed の Performance Assessment Battery：PAB である [18]．

これらは設定された標準作業の負荷による異なるケース間についての比較が可能であり，横断的な調査などには有用である．しかし，やはり実際のオフィスワークとは大きく異なっており，その要素をどの程度反映しているかは不明である．

（3）主観的評価

Table 2.1: PAB

作業名	作業内容
Two-letter Search	2 文字の目標アルファベットとアルファベット文字列が表示，文字列中に目標の 2 文字が存在するかを判断
Four choice serialreaction time	テンキー 1，2，4，5 に対応する 4 つのボックスが表示, 内一つが点滅した際に点滅するボックスの数字を入力
Interval production	時計の秒針が表示，自らが 1 秒と感じる間隔でボタンを押して秒針を動かす作業
Manikin	画面に人体，○および□の図形が人体周囲および左右の手に表示され，人体を囲んでいる図形と同じ図形を持っている方の手の左右を答える
Code Substitution	数字とアルファベットの対応表が与えられ，その後文字が画面に表示され，それに対応する数字を入力する作業
Matching to sample	はじめにサンプルの図形，その後 2 つの図形が画面上に並んで表示され，サンプルと同一の図形を選択する作業
Running memory	1 から 3 の数字が 1 文字ずつ次々と画面上に表示され，1 つ前に表示された数字をキーボードより入力する

主観的評価法は，Woods らのモデル（Fig. 2.3）における人間の心理的反応を測定する方法である．特徴としては作業種類の違いによる影響が少なく，現場での運用も比較的容易な点が挙げられる．同じ書式を用いることにより，様々なケースについての比較も可能となる．問題点としては，偏見や先入観によるバイアスの発生が挙げられる．このため結果の解釈については常にその背景をよく理解していることが必要である．

主観的評価の代表的な評価項目として快適性と疲労が挙げられる．疲労は作業の量，質，スピードに大きく影響するため，これを測定し，判断の目安とするケースが多い．国内では田辺ら [19] が知的生産性の評価に主観的疲労兆候調べを利用した例がある．ここでは疲労感を以下の 3 つのカテゴリーに分類し，その有無を問う評価を行っている．

- 「眠気とだるさ」: 頭が重い，全身がだるい，眠いなど
- 「集中の難しさ」: 考えがまとまらない，気が散るなど
- 「不定愁訴」: 頭が痛い，肩が凝るなど

しかしこうした疲労感と知的生産性やプロダクティビティとの関係は明らかにされておらず，また生産性に関わる一要素のみでの評価では不十分なものであると考えられる．

一方で，主観的方法によりプロダクティビティを直接評価することもよく行われている．一般的にオフィスビルにおいてプロダクティビティ効率を議論する際のデータのほとんどがこの方法により測定されたものである．代表的なものとしては，執務者に自身の知的生産性の程度を尺度評価させるもの，生産性の増減率を自己申告させるものなどがある．こうした主観評価について，橋本ら [20] は既往研究中の代表的な質問項目を以下のように挙げている．

- 作業を損なっている障害は何ですか？またそれが改善すれば，どの程度作業性は向上すると考えられますか？(Clements-Croome and Kaluarachchi 2000)
  光環境，熱環境，音環境，空気質環境，空間環境，職場の人間関係，業務内容から選択．作業性は%で回答．
- 現在の作業能率は普段より高いと思われますか，低いと思われますか？(Woods et al. 1981)
  普段より高い，普段より低い，普段と同じから選択．
- 今日現時点までに達成した仕事の量は普段と比べて多いですか？少ないですか？(Woods et al. 1981)
  普段より多い，普段より少ない，普段と同じから選択．

- 今日遣り残した仕事は普段より多いですか？少ないですか？(Woods et al. 1981)
  普段より（遣り残しが）多い，普段より（遣り残しは）少ない，普段と同じから選択

- オフィスや作業スペースにおける室内環境が，仕事を達成する上での障害と感じたことがありますか？(Woods et al 1987)
  非常に思う，思う，やや思う，あまり思わない，思わないから選択.

- この 2 週間，室内環境はあなたの平均的作業能率を基準とするとどの程度影響したといえますか？(Nicol and Kessler 1998)
  影響しない，あまり影響しない，やや影響する，影響した，非常に影響したから選択

- 室内環境がどの程度作業能率に影響したとお考えですか?(Raw et al. 1990, Leaman and Bordass 2000)
  40%以上向上した，40%以上低下した，どちらでもないから選択.

- 最も能率のいい日に比べて，今日の作業能率はどの程度と言えますか？(Kildeso et al. 1999)
  0〜100%の範囲で自由記述

いずれも，簡易にプロダクティビティを評価できるが，結果に対する説明要素が不十分であり，これのみで経済指標化を行うには納得性も欠けるため，今後も一層の検討が必要と思われる．

また，生産性要素の多面的評価を行う質問票も各種考案されている．Table2.2 に代表的なものとして BOSTI[4] が考案した質問票を示す．これは，環境満足度 3 項目，仕事満足度 6 項目，職務能力，コミュニケーションの容易さ 5 項目を問う内容である．職務能力評価については，自己および管理者による評価を実施し，絶対的な 0〜10 段階評価で以下の項目（達成された仕事量，達成された仕事の質，期限の達成度，誤りの頻度）についてそれぞれ申告する内容である．この質問票を用いた BOSTI の報告では，約 70 社 6,000 名のオフィス作業者（マネージャー，技術職，事務職）に関する 5 年間の調査より，環境要素に対する投資効果が算出されている（Table2.3）．結果として給与の 15〜17%に相当するプロダクティビティが環境によって変化しうると述べられている．なお国内で同様のアプローチを行うに際しては，欧米と日本との雇用形態，就業体制，労使間関係に関する相違点などの社会的背景に対する配慮が必要であると考

Table 2.2: 計測項目と尺度構成（BOSTI 質問票）

（環境満足度）
全てのことを考慮に入れ，自分は仕事場にとても満足しているか
自分の仕事場は仕事の効率性の助けとなっているか
自分の仕事場を他の人へ見せることを誇らしく思うか
（仕事満足度）
全体として自分の仕事にどのくらい満足していると言えるか
もし今自由に望む仕事に就けるとしたら，どのような選択を行うか
仕事に来ることをどう感じるか
（コミュニケーションの容易さ）
仕事をする上で他部署の人間からの情報を必要としているとき， いつも回り道をしなければならないか
仕事をする上で同僚からの情報を必要としているとき，いつも 回り道をしなければならないか
自分が周囲情報やニュースから阻害されているとよく感じるか

えられる．こうしたアプローチでは各要素を基に総合的な生産性評価を導出するための説明モデルが必要であり，今後も検討，工夫が必要と思われる．

このような主観的評価によるプロダクティビティの評価は簡便であるが，個人によるばらつきが大きく先入観などの介入もあるため，これのみでは経済指標に用いるには説得力に欠けるため，より説明性の高い総合指標を導出する必要がある．

（4）生理指標による測定

ある室内環境における実作業または擬似作業遂行時の執務者の生理反応から，知的生産性を推定しようとする試みもなされている．田辺ら [21] は頭部血中酸素濃度を計測し，生産性の評価に適用しようと試みている．この他にも脳波，心拍 R-R 間隔などの生理的指標を用いた測定などが考えられる．こうした生理指標による評価は客観評価が可能であるが，作業効率との関係を明らかにする必要があるとともに，これらは執務者の身体的側面のみの評価であるため，生理指標評価のみではプロダクティビティの評価としては不十分であると考えられる．

Table 2.3: 環境要素の経済価値

	マネージャー職		技術職		事務職	
要素の改良	年間価値	正味原価5年	年間価値	正味原価5年	年間価値	正味原価5年
ノイズ	472	1789	282	1068	148	560
室温変動	270	1023	162	613	85	322
グレア	275	1023	165	625	87	329
快適さ	-	-	234	886	-	-
移動	450	1705	271	1026	142	538
個室	3423	12971	2606	9873	1438	5447
レイアウト	2491	9438	1646	6236	1046	3964

単位$，平均給料：マネージャー 41500$, 技術職 31600$, 事務職 17400$

Table 2.4: プロダクティビティに影響する環境因子

＜環境因子＞	＜支持率＞	＜環境因子＞	＜支持率＞
換気量	76%	空調機器の保守	9%
室温	55%	清掃状態	6%
騒音レベル	27%	発揮製有機化合物	6%
粉塵	21%	照明の質	6%
個人的環境制御可能度	18%	騒音の質	6%
気流	18%	匂い	3%
日光	12%	プライバシー	0%
熱的不快感	9%	照度	0%

2.2.3 プロダクティビティに影響する環境要因

プロダクティビティと環境要因の関係は，未だ十分に明らかにされていない．Wyon ら [22] らは Healthy Buildings 2000 ワークショップの参加者に対し「どのような環境因子がプロダクティビティに影響を与えると思うか」を問うアンケートを行い，Table.2.4 のような結果を得ている．この結果から，空気質，温熱環境，音環境，個人的環境制御可能度，光環境が重要と認識されているとわかる．

しかしこれはあくまで専門家による予測であり，実際のオフィスの実情を完全に反

映しているわけではない．

そこで，ワーカの主観評価によってプロダクティビティに関わる環境要因の評価を行う試みがなされている．橋本ら [20] は主観評価に関する既往研究をまとめ，さらに独自の質問を加えたSAPを開発した．その評価項目をTable2.5に示す．これは主に室内環境の要因（熱，音，光環境などを指す）とさらに各要因の下位要素（上下温度差，会話の聞き取りやすさ，グレアなどを指す）を主観評価させ，環境全体としての総合的な評価を行う構造である．ここでの評価は知覚・感覚レベルの感じ方から，快－不快や満足－不満，などとなっている．また自身の生産性に対する作業効率を単一質問項目で評価させている．しかし，主観による評価では個人によって結果が大きくばらついたり，先入観や偏見が介入するという問題が存在する．

室内環境改善およびプロダクティビティ向上のためには，どの環境要因がプロダクティビティにどのように影響を与えるかを明確にする必要があるが，そのためにはプロダクティビティの定量的な評価手法の開発が不可欠である．

2.3 本研究の目的

このように現在までプロダクティビティ評価をテーマとした研究は多く行われてきたものの，客観性，定量性，有用性を満足させる評価手法は開発されていない．そこで本研究では，ホワイトカラーワーカを対象としたプロダクティビティの客観的かつ定量的評価手法の開発を行うことを目的とする．

Table 2.5: SAP における評価項目

	項目
一般的事項・基本情報	回答日
	名前
	所属
	性別
	年齢 (あるいは生年月日)
	職務内容
	現在の体調
	現作業スペースでの継続勤務期間
	座席位置情報（外壁からの距離）
	座席位置情報（窓からの距離）
プロビダクティビティ関連	モチベーション
	室内環境（総合的）の影響
	「個人生産性」の程度
	仕事への集中のしやすさ
	災害・事故・防犯に対する不安
	コミュニケーションし易い
	協働作業性
空間環境	広さ・スペース
	インテリアに対する印象
	デスク周りのスペース
	デスクの使い心地
	調整性について
	仕事への影響（デスク）
	椅子の使い心地／快適性
	椅子の調整性について
	仕事への影響（椅子）
	机・家具等什器の配置
	配線の不備・不足
	収納スペース

	項目
光環境	明るさ
	作業面の手暗がりへの不満
	グレア・まぶしさ
	モニタへの映り込みへの不満
	仕事への影響（照明）
	視覚的プライバシーへの満足
温熱環境	温冷感
	湿度感（全身）
	気流感の有無（全身）
	放射感の有無
	快適感
	上下温度差
	温度変動の有無
	着衣状態
	仕事への影響（温熱環境）
空気環境	空気の汚れ（新鮮さ）
	空気の淀み
	におい
	仕事への影響（空気質）
	ほこりっぽさ
音環境	騒音の程度
	騒音に対する感度・満足
	音源（不満）の特定
	仕事への影響（音環境）
	プライバシー
その他の	メンテナンスに対する満足
	仕事への影響（清掃・メンテ）

第 3 章 プロダクティビティの評価法の提案

本章では，プロダクティビティの客観的，定量的評価のためのパフォーマンステストの設計について述べる．その後，その裏づけとなりうる心理生理指標と主観評価手法について説明する．

3.1 プロダクティビティの定量的評価手法

前述したとおり，プロダクティビティの評価にはパフォーマンスを計測する，主観によって評価する，生理指標などから身体的・精神的影響を推定するという 3 つの方法が存在する．しかしいずれの方法も，プロダクティビティを定量的かつ客観的に評価するには不十分である．そこで本研究では，オフィスワークを反映し，ワーカの作業効率を定量的かつ客観的に，容易に評価することができるパフォーマンステストの開発を行い，それを用いて作業者のプロダクティビティを評価する．また，短期間で行ったテストのパフォーマンスのみからでは計り知れない疲労やストレスといった身体的・精神的影響を生理心理指標や主観評価から推定し，評価する手法の提案を行う．

3.2 パフォーマンステストの開発

本章では，まず，パフォーマンステストセットの作成に先立って行った，人の知的活動の分類とオフィス調査について述べる．その後，パフォーマンステストセットを説明し，実際にテストセットを実装する際のハードウェア・ソフトウェア構成について述べる．

3.2.1 人の知的能力の分類

本研究では，知的生産性計測のためのパフォーマンステストシステムの設計にあたって，まず人の知的活動の分類を行った．分類には Handbook of Human Abilities[23] を用いる．このハンドブックは，様々な業種における仕事の分析を基にして，仕事に必要な人の能力を分類が行われている．このような分類を行っているハンドブックは他にはなく，そのため今回オフィス作業の擬似タスクを作る際に用いる事にした．

このハンドブックではまず人の能力が Cognitive Abilities，Phychomotor Abilities，Physical Abilities，Sensory/Perceptual Abilities の 4 つの項目に大別されている．4 つの項目はさらに細かく分けられており，すべて含めると 52 種類に分類が行われている．今回は，オフィス作業に焦点を当てているが，オフィス作業では知的作業が多いと考えられるため，Cognitive Abilities に含まれる 21 種のアビリティを知的能力の分類に用いる事にする (表 3.1)．

また，この 21 種すべてがオフィス作業に必要であるかどうかは不明であるため，この中から必要なものを選び出す必要がある．

3.2.2 オフィス調査

実際に今回ターゲットとするオフィス作業で必要なアビリティが上に述べた 21 種のうちどのアビリティかを調べるために，オフィス作業者に対してインタビュー調査を行った．インタビューは口頭で 1 時間程度行った．インタビュー中，適宜筆記で記録をとるとともに，音声の録音も行った (結果は付録に記載する)．その結果，21 種類の能力のうちで，11 種類（口頭理解能力，書面理解能力，口頭表現能力，文書表現能力，記憶能力，数学的推論能力，演繹的推理能力，帰納的推理能力，情報秩序化能力，認知速度，時分割能力）の重要度が高いことがわかった．そこで本研究ではこの 11 種のアビリティを対象にテストを作ることにする．

また，インターネットを用いて上記のインタビューを行ったオフィス作業者とは別のオフィス作業者 2 名に対して 21 種の各アビリティがオフィス作業においてどの程度の割合で重要であるかを問うアンケートを行った．うち 1 名は研究職で，もう 1 名は事務職であった．アンケート結果を図 3.1 に示す．この結果から，オフィス作業では 11 種の各アビリティがそれぞれ異なる割合で必要になってくることがわかる．そのため，オフィス作業のプロダクティビティ効率を考える際，各アビリティのパフォーマンステストの結果もその割合にあわせて扱うことが必要である．

また，このアンケートから，上記インタビューで絞り込んだ 11 種以外に独創性，数字能力，問題への感受性も必要となることが示唆された．

独創性，問題発見能力に関しては，直接測るのは困難であるが，帰納的推理能力，演繹的推理能力が土台となると考え，間接的に計測する．数字能力に関しては，今後パフォーマンステストを開発する必要がある．

Table 3.1: ヒューマンアビリティによる知的能力分類

能力名	能力の説明	能力の用いられる場面	能力名	能力の説明	能力の用いられる場面
1，口頭理解能力	話された言葉や文を理解する能力	講義，説明，出来事や場所，人物の描写，電話，テレビ，ラジオなどのメッセージを聞いて理解するのに用いられる．	１２，帰納的推理能力	ばらばらな情報から一般法則や結論を導き出す能力	研究で得られた多くの結果から病気の診断を行ったり，風向き，気圧，などの情報を用いて天気を予測したり，持ちうる証拠を用いて罪状をきめたりなどに用いられる．
2，書面理解能力	書かれた言葉や文を理解する能力	本，記事，説明書，文面になった説明，仕事の命令書の読解に用いられる．	１３，情報秩序化能力	物の配置など決められた法則に正確に従う能力	準備手続きのチェックリストに従ったり，センテンスを意味のあるパラグラフに構成したり，数字やアルファベットを指示どおりに並べたりということに用いられる．
3，口頭表現能力	ほかの人が理解できるように話して言葉を使う能力	説明を行ったり，スピーチをしたり，出来事を描写したりということに用いられる．	１４，分類柔軟性	一連の物事をグループ化するような法則を作り出す能力	合成繊維を強度，コスト，弾力，融点の点から分類したり，花を大きさ，色，におい，効用から分類したり，工具箱の釘を長さに基づいて分類したりというようなことに用いられる．
4，文章表現能力	ほかの人が理解できるように書面で言葉を使う能力	文書，説明書，指示書，推薦状，手紙，メモなどを書くことに用いられる．	１５，理解速度	構成や意味がないと一見思われる情報を早く理解する能力	天気レーダーのパターンを見て天気を決定したり，モールス信号を受信したり，汚い手書き文字を解読したり，暗号化されたメッセージを解読したりというような場面で用いられる．
5，アイデアの流暢さ	多くのアイデアを生み出す能力．	ある問題に対して複数の結論や，新しいツールの様々な使い方や，代わりとなる調査の可能性や故障したものの修理や，製品に新たな名前をつけたりするのに用いられる．	１６，理解の柔軟性	他のないように隠された既知のパターンを同定したり，検出したりする能力	カモフラージュされたターゲットを探し出す，部屋の図面や手書きの複雑な図形の中からスイッチを探し出す，ラフの中のゴルフボールを探し出す場面などで用いられる．
6，独創性	普通ではない賢いアイデアを生み出す能力	設備を修理するために新しいツールを発明したり，社員募集や仕事をよりよくするための新しいアイデアを思いついたり，新しい絵画法を作ったりという場面で用いられる．	１７，空間位置確認能力	現在の環境に対し，自分の位置を認識，またはある物体の自分に対しての位置を認識する能力	飛行機の操縦，重力のない環境で何かをする，町で地図を用いる，真っ暗な部屋を通り抜ける，ショッピングモール店を構えるのにフロアーを用いる計画を練る時などに用いられる．
7，記憶能力	言葉や数字，絵や手順など，情報を覚える能力	新しい名前や顔，規則，電話番号，場所の風景，文書，バスの番号の記憶などに用いられる．	１８，視覚化能力	物体が移動したときにそれがどのように見えるかを創造できる能力	チェッカーやチェスのゲームで相手の駒の先読みをする，立方体を作るのに紙を切り貼りする方法を考える，部屋の模様替えの際家具がどのように見えるか予測する，青写真を読む時などに用いられる．
8，問題への感受性	何かが間違っていることを知る能力	装備の故障や，病気の初期段階，受刑者の暴動，受信したデータの正確性などに気づくことが含まれる．	１９，認知速度	文字，数字，物体，絵，パターンをすばやく正確に比較する能力	印刷ミスがないかどうかテキストをすばやく調べたり，データの正確性を素早く調べたり，様々な株価の増減を調べるのに新聞の株式市場のページを調べるのに用いられる．
9，数学的推論能力	問題を理解し，数学的方法を選択し問題を定式化する能力	数学的推論は，ミサイルの軌跡を表現する数式を作ったり，生産量のデータを分析するのに統計を用いたり，ビジネスの利益を計算する方法を決めたりすることに用いられる．	２０，選択的注意能力	一定期間，タスクに集中する能力	ボイラーの音でうるさい部屋の中で技術書を読む，後ろに聞こえる人の会話を無視して管制官からの着陸指示を聞き取る，などに用いられる．
１０，数字能力	四則演算や数字の操作を早く正確に行う能力	数字能力は収入に対する税金を計算したり，レストランの請求書を計算するのに用いられる．	２１，時分割能力	2 つ以上の行為や情報源の間で行ったり来たりを効果的に切り替える能力	時分割能力は，航空管制官が多くの計器などに注意を払ったり，ウェイターが一度に多くの注文を処理したりするのに用いられる．
１１，演繹的推理能力	一般的な法則を特別な問題に適用し，論理的な解を見出す能力	航空力学を用いて新しい飛行機を設計したり，株を選ぶのにどの要素を考えるべきか決めたり，事件の際にある行動が特定の法律を犯したかどうか決めたりすることに用いられる．			

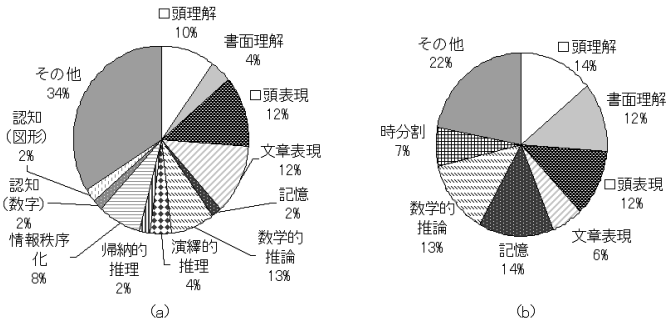

Fig. 3.1: オフィス作業者に対するアンケートの結果

3.2.3 テストセット設計の指針

今回のテストセットは，オフィス作業者の作業効率を定量的に測り，その結果から作業者を取り巻く環境を評価することを目的とする．すなわち，テストセットを複数用意し，標準的な環境におけるテストの結果と，環境改善後のテストの結果を調べ両者を比較することで，改善後の環境が作業効率に対してどの程度影響を与えるかを評価するものである．そのため，以下の要求を満たすように設計する．

- 難易度が均一であること．

これはテストセットによる結果が環境の変化によるものではなく，テストセットの難易度のばらつきによるものである恐れがあるためである．

- 難易度が適切であること．

これはテストセットが難しすぎたり，易しすぎたりした場合に作業者の作業効率を評価できない恐れがあるためである．

また，今回設計するテストセットを用いて，今後，オフィスでの大規模な実験も考えており，そのときの手間を考慮に入れ以下の要求も満たすように設計する．

- テストにかかる時間は短くすること．
- 手軽に行えること．
- オフィス作業に準じていること．

そのため，今回は実行の容易さとオフィス作業がPC中心となっていることから，パソコンを用い，インターネットを介したテストの設計を行う．テストセットを実装するために用いるシステムは，Webサーバを核としてWebブラウザをユーザインタフェースとするサーバ・クライアント構成とする．

本研究で対象とする11種のアビリティについてそれぞれパフォーマンステストを設計する．口頭理解能力のテスト以外のテスト課題は全てPCより提示され，口頭表現能力のテスト以外のテストは全てPCから回答する．口頭理解能力のテストの課題は卓上に設置されたスピーカーより流し，口頭表現能力の回答はマイクから被験者の音声を録音し，実験終了後に実験者が聞き取り確認する．

また，テストセットを実装するために用いるシステムのアーキテクチャは以下の様にする．基本的なインタフェース制御，問題の生成・表示，時間の計測や採点は，全てWebブラウザ上でJavaScriptを動作させることで行う．また，GUI設計はHTMLによって行う．これに加えて，成績の記録と問題生成の補助的な機能は，Webサーバ側でSSIを用いて行う．

口頭理解能力と記憶能力のテスト以外はテストに制限時間を設けた．これは，被験者に対して回答を早く行うように促すためである．また，制限時間を設けることでテストセット全体の時間を調整することもできる．

（1）口頭理解能力

口頭理解能力のテストとして，音読された文章(500文字程度，約2分)を聞きとり，その内容に対応した設問に答える作業を考案した(図3.2)．まず，被験者はパソコンの横に設置されたスピーカから出力される録音された文章を聞き取り，続いてその内容に即した設問がディスプレイに表示される．

設問は表示された問題文が聞き取った内容に対して,「正しい」,「間違っている」か,聞き取った文章からは判断できないかの3つから選び正しい場合にはAを，間違っている場合にはBを，判断できない場合にはCを回答するというものである．

毎回のテストでは3つの文章を出題し，1つの文章に対し4問の設問文を用意する．口頭理解能力の評価には，問題の正答率を用いる．

（2）書面理解能力

書面理解能力のテストとして，読解力テストを考案した．これはディスプレイに表示される文章（1350文字程度）を読み，その内容に対応した設問に答える作業である．

Fig. 3.2: 口頭理解能力テストの概念図

問題が始まるとディスプレイには文章だけが表示されている (図 3.3)．それを読み終わり (質問・回答に進む) のボタンをクリックすることで設問の画面に進むことができる (図 3.4)．

設問は，4 つの選択肢の中から文章の内容にあっているものを選ぶというものである．選択肢はボタンになっており，クリックすることで回答を行うことができ，(次へ) のボタンをクリックすることで次の文章へ進むことができる．ただし，この設問は，被験者が文章を読む際に内容を吟味して読むように与えたもので，書面理解能力の評価には用いない．1 回のテストで 4 つの文章とそれに対応する設問を出題する．1 つの文章の制限時間は 2 分とする．書面理解能力の評価には，書面理解能力が下がると読解の速度が落ちると考え，問題文を読むのにかかった時間を用いる．この時間は文章がディスプレイに表示されてから，被験者が文章の下に表示されたボタンをクリックするまでの時間を計測する．

(3) 口頭表現能力

口頭表現能力のテストとして，4 コマ漫画表現テストを考案した．これは被験者がディスプレイに表示される図 3.5 のような 4 コマ漫画を見て，その内容を口頭で表現するという作業である．

被験者には実験前に「他の人がそれを聞いて絵が思い浮かぶように表現してください」と指示を与える．回答は部屋に設置されたビデオの音声入力につないだマイクに

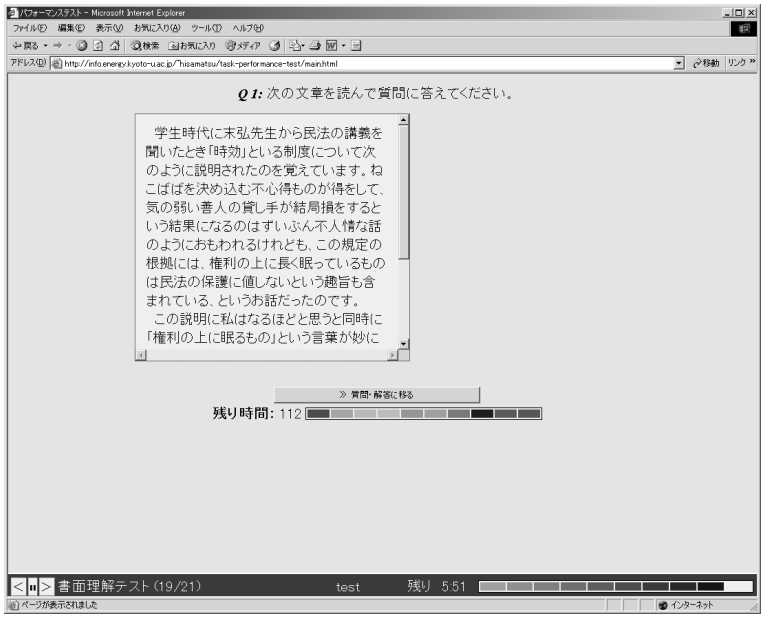

Fig. 3.3: 書面理解能力の問題呈示画面

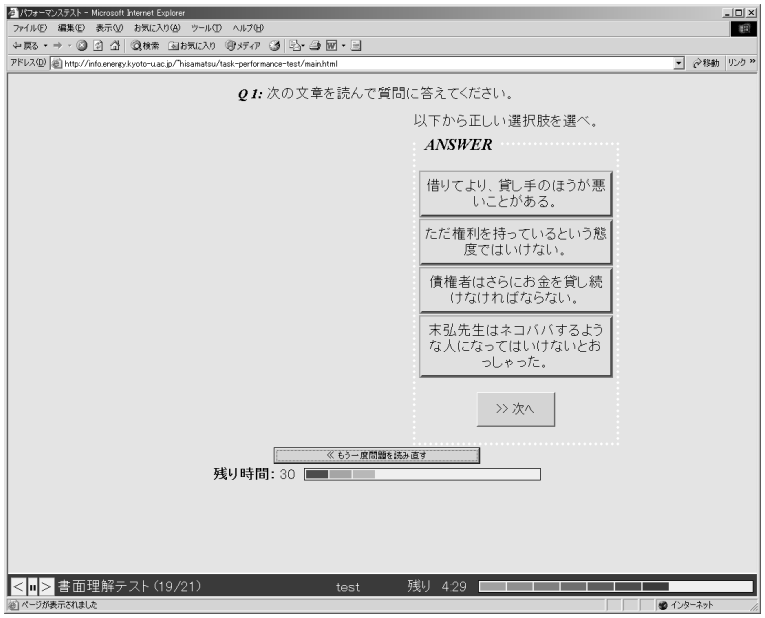

Fig. 3.4: 書面理解能力の回答画面

吹き込んでもらう．漫画がディスプレイに出力されて最初の 30 秒は絵を見る時間とし，その後 60 秒で回答するものとする．制限時間内に回答が終わらなかった場合，時間終了時の回答を採用する．回答が終わったら，(次へ) のボタンをクリックすることで次の問題へ進む．これを一回のテストで 4 問出題する．

4 コマ漫画の絵には，その絵を伝える際に表現をする必要のある表現ポイントを設定しておいた.「登場人物がみな書かれているか」「その登場人物が何をしているか」「どのような場面か」を表現ポイントを設定する際の基準とした (表 3.2).

本テストでは，設定しておいた表現ポイントのうち正確に表現された表現ポイントの割合を正答率とし評価に用いる．

Table 3.2: 口頭表現能力のテストの採点基準の一例

コマ数	表現ポイント
1 コマ目	(子供連れの奥さん 2 組)(電車の中)(奥さんも子供も騒いでいる)
2 コマ目	(奥さんたちはしゃべり続けいている)(子供達は騒いでいる)
3 コマ目	(おじいさんが静かにと怒鳴りつけた)
4 コマ目	(奥さん，子供は申し訳なさそう)(周りの人たちは満足そう)

（4）文章表現能力

文章表現能力のテストとして，絵の表現テストを考案した．これは被験者がディスプレイに表示される図 3.6 のような絵を見，それを表現する作業である．

被験者には実験前に「他の人がそれを読んで絵が思い浮かぶように表現してください」と指示を与える．回答はディスプレイの記入フォームにキーボードを用いて行ってもらい，回答時間は 120 秒とした．回答が終わったら，(次へ) のボタンを押すことで次の問題に進むことができる．また制限時間内に回答が終わらなかった場合時間終了時の回答を採用する．これを 1 回のテストで 3 問出題する．

絵には，その絵を伝える際に表現をする必要のある表現ポイントを設定しておいた.「場所と人物が書かれているか」「その登場人物が何をしているか」「背景がきちんと説明されているか」を表現ポイントを設定する際の規準とした (表 3.3).

あらかじめ絵に設定しておいた表現ポイントのうち正確に表現できた割合を，正答率とし文章表現能力の評価に用いる．

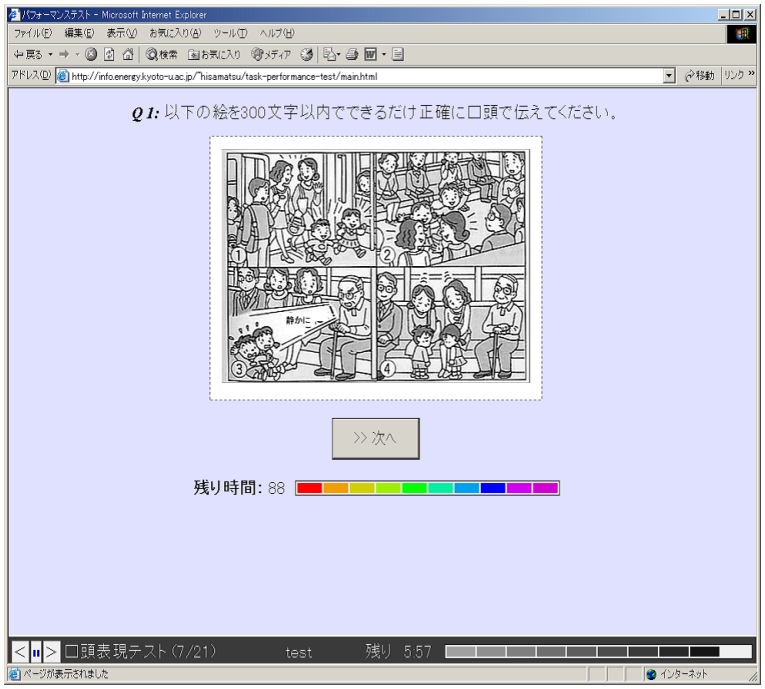

Fig. 3.5: 口頭表現能力のテスト画面

Table 3.3: 文章表現能力のテストの採点基準の一例

基準	表現ポイント
場所と人物	(牧場で)(男の子，女の人，牛)
男の子	(牛の後ろで)(しゃがんで，バケツに手をかけている)
女の人	(男の子の右側で)(スコップを地面に立てている)
背景	(後ろに建物があり木に囲まれている)(遠くに山がある)

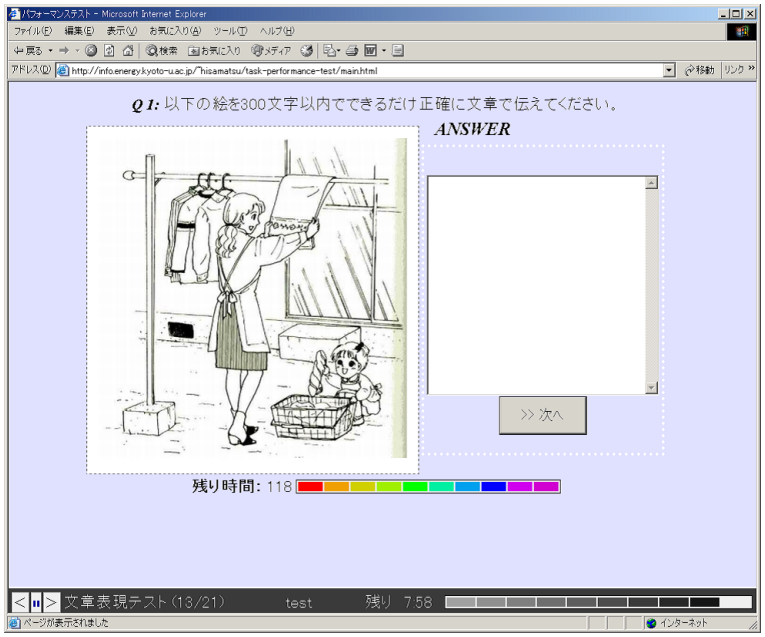

Fig. 3.6: 文章表現能力のテスト画面

（5）記憶能力

記憶能力のテストとして，吉川ら [24] の考案した状態遷移規則記憶テストを用意した (図 3.7)．ボックスの横の 1,2,3 のボタンを押すとボックスの中の図形があらかじめ実験者側で用意した遷移 (例：図 3.8) に基づいて変化する．被験者は，そのボタンを何度か押しながら，その●，▲，■の変化の仕方（状態遷移）を記憶し，変化規則を全て記憶したら (Understand) ボタンをクリックする．その後，図 3.9 のような画面となり，回答フォームの選択肢から●，▲，■のいずれかを回答する．回答が終わったら，フォームの下の (Answer Question) ボタンを押し，画面下部の (Clear test data)(Start Test) の順に押すことで次の問題に進む．

(Start Test) ボタンを押してから記憶が完了し (Understand) ボタンを押すまでの時間を記憶完了時間とし計測する．1 回のテストで 5 問出題し，5 問の記憶時間の合計と正解数の合計から 1 分あたりの正解数を求め，これを記憶能力の評価に用いる．なお，このテストでは最初に用意した状態遷移規則の複雑性から，エントロピ（難易度）が一意に決定する．よって本テストでは，5 種類の状態遷移規則を設け，1 回 5 問のテストにつき各エントロピ 1 回ずつ，常に同じ順で出題した．

（6）数学的推論能力

数学的推論能力のテストとして，数学テストを考案した (図 3.10)．これはディスプレ

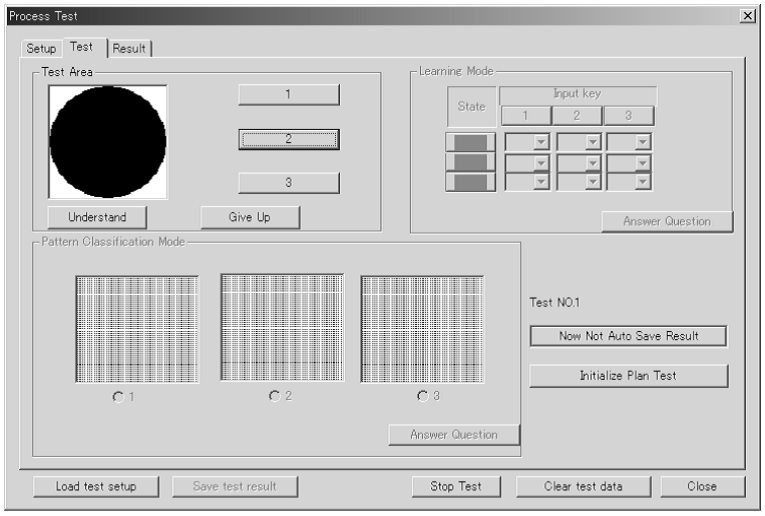

Fig. 3.7: 記憶能力テストの問題呈示画面

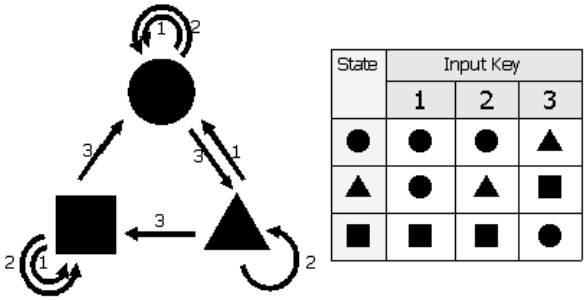

Fig. 3.8: 状態遷移規則の例

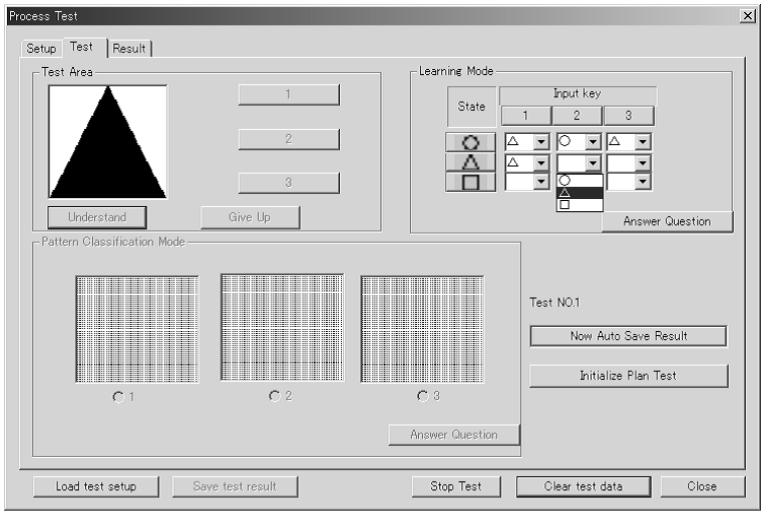

Fig. 3.9: 記憶能力テストの回答画面

イに表示された数学の問題を解答する作業である．

数学の問題としては，鶴亀算や植木算などを用いる小学生 6 年生レベルの数学的文章題を出題する．あらかじめ問題の種類 (例えば鶴亀算など) は限定しておき，毎回同じ種類の問題を出題することでテスト毎の難易度を等しくする．計算の速度は数学的推論能力の範囲外なので，問題の解答に必要な計算は簡単にしておく．被験者が問題の解き方がわからない場合も考慮し，実験前にすべての種類の問題に対して実験者が解き方を解説する．

回答は，ディスプレイに表示された 4 つの値の中から正しい値を選びクリックする．回答選択後 (次へ) のボタンをクリックすることで次の問題へ進むことができる．

1 回のテストに 9 問出題し制限時間は 1 問につき 1 分とする．評価には，9 問すべての解答時間と正解数から求めた，1 分あたりの正解数を用いる．

（7）演繹的推理能力

演繹的推論能力のテストとして，三段論法テストを考案した (図 3.11)．これはディスプレイに表示された三段論法の問題の正誤を判断する作業である．

Lefford[25] によると，三段論法の問題には 3 つの変数があり，変数の違いにより難易度が異なる．1 つは，論証の内容（感情的/中立的），2 つ目は論証の妥当性（有/無），3 つ目は見かけ上の真偽（真/偽）である．日毎のテストに難易度の違いが出ないように，この 3 つの変数を組み合わせて 2 × 2 × 2 = 8 パターンの問題を一つずつとその傾向を被験者に悟られないように 1 問追加し計 9 問出題する．

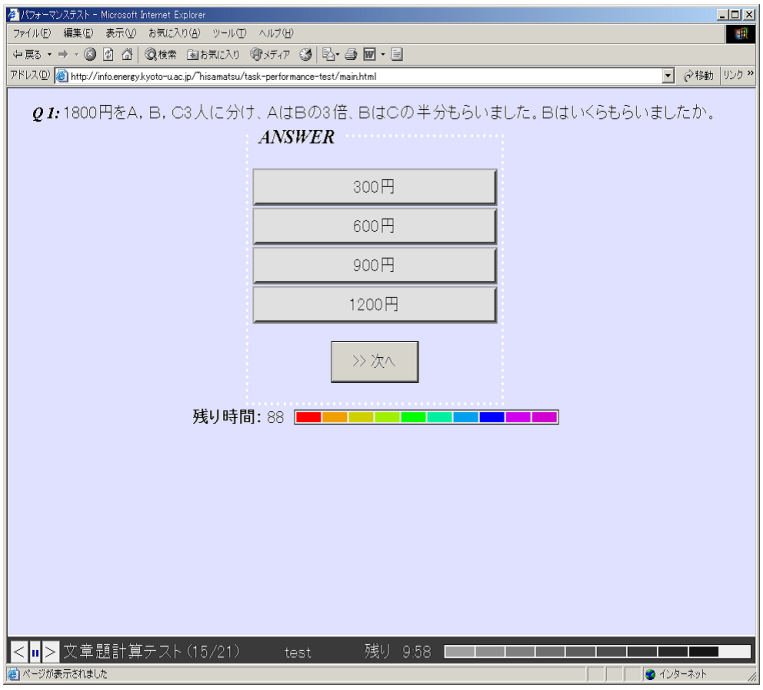

Fig. 3.10: 数学的推論能力のテスト画面

演繹的推理能力は「一般的な法則を特別な問題に適用し，論理的な解を見出す能力」であるので，実験前に三段論法の解法を教示した上でテストを行う．回答は問題文の下に表示された (妥当である)(妥当でない) のボタンをクリックすることで行う．制限時間は 60 秒とする．(次へ) のボタンをクリックすると次の問題へ進むことができる．

問題の表示から (次へ) のボタンをクリックするまでの時間を計測しており，9 問の回答時間と正答数から，1 分あたりの正答数を求めこれを演繹的推理能力の評価に用いる．

$$\text{修正正答率} = \frac{(2n - N)}{N} \tag{3.1}$$

（8）帰納的推理能力

帰納的推理能力のテストとして，ルール推理テストを用意した (図 3.12)．このルール推理テストとしては Bruner ら [26] が用いた「刺激を分類する学習」を用いる．

このテストでは，はじめディスプレイ上に図形の形（丸，正方形，十字），図形の数（1，2，3 個），図形の色（白，黒）を組み合わせた 18 個のボタンが表示されている．実験者はあらかじめそれらの中の部分集合を指定するルールを用意する．例えば「黒い図形」という概念の場合には，このボタンの中で図形の形や数にかかわりなく黒い

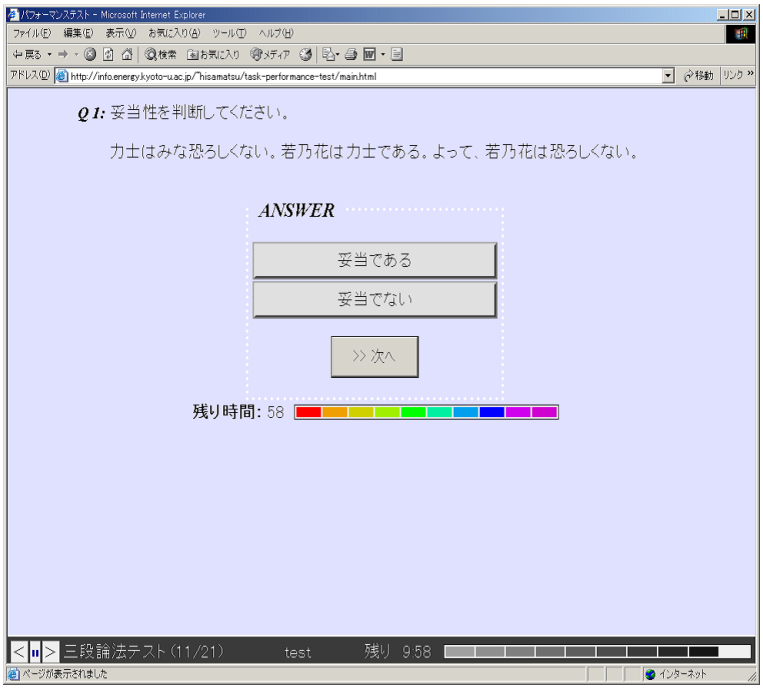

Fig. 3.11: 演繹的推理能力のテスト画面

図形がすべて当てはまる．被験者ははじめこのルールを知らされていない．ボタンをクリックするとそのボタンに描かれている図形がルールに当てはまっていれば，ディスプレイの中央に (TURE) と，当てはまっていなければ (false) と表示されるようになっており，実験者があらかじめ想定しているルールを見出すのが課題である．毎回のテストでの難易度をそろえるために，出題するルールはランダムで生成する．

回答にはルールがわかったら形，数，色について 1 つずつルールを選び，選び終わったら (チェック) をクリックする．正解していれば，(次へ) のボタンをクリックすることで次の問題へ進むことができる．1 問の制限時間は 50 秒とし，7 分間テストを行う．正解数と全体の制限時間から 1 分あたりの正解数を求め，これを帰納的推理能力の評価に用いる．

（9）情報秩序化

情報秩序化能力のテストとして，図書並び替えテストを考案した (図 3.13)．被験者が，ディスプレイに表示された 8 件の図書リストを，決められた法則どおりに並び替える作業である．

図書リストには，その図書の図書名，著者，出版社，出版年度，値段が掲載されている．並び替える法則として,「図書名の 50 音順に並び替えよ」「図書名の 50 音順の逆

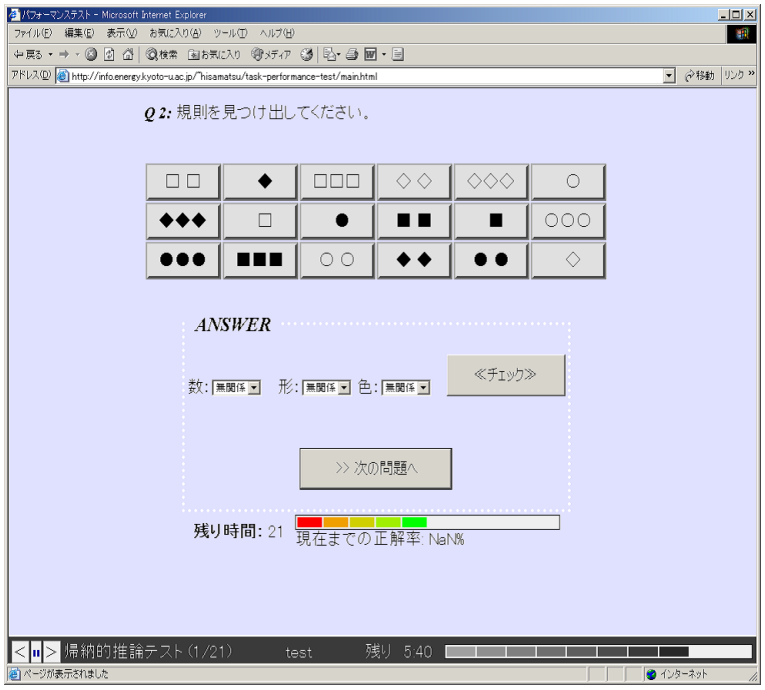

Fig. 3.12: 帰納的推理能力のテスト画面

に並べ替えよ」「著者名の 50 音順に並び替えよ」「著者名の 50 音順の逆に並べ替えよ」「出版社名の 50 音順に並び替えよ」「出版社名の 50 音順の逆に並び替えよ」「出版年度の古い順に並び替えよ」「出版年度の新しい順に並び替えよ」「値段の安い順に並び替えよ」「値段の高い順に並び替えよ」の 10 通りが出題される．毎回のテストでの難易度をそろえるために，出題される図書の情報は，あらかじめ用意した図書 (177 冊) の情報の中からランダムで出題されるように作成した．

1 問の制限時間は 1 分とし，上記の法則で 1 問ずつ出題し計 10 問出題される．(次へ) のボタンをクリックすることで次の問題へ進み，問題開始からそのボタンを押すまでの時間を計測する．また，正しく並べられた本の数を正解数とカウントする．10 問の回答にかかった時間と正解数から 1 分あたりの正解数を求め，これを情報秩序化能力の評価に用いる．

（10）認知速度

認知速度は,「文字，数字，物体，絵，パターンをすばやく正確に比較する能力で」であり，本研究ではこの中からテストの作りやすいものとして，数字，パターンに関する認知速度のテストを作成する．

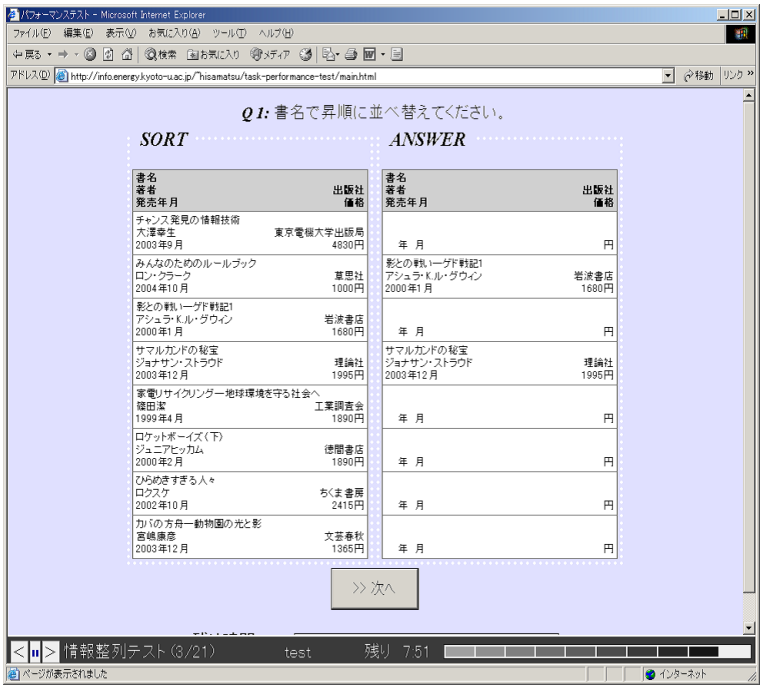

Fig. 3.13: 情報秩序化能力のテスト画面

（10-1）認知速度 (数字)

認知速度 (数字) のテストとして，数字照合テストを用意した (図 3.14)．これはディスプレイに表示された，ターゲットとなる 4 桁の数字が，その上部に表示される 5 × 5 の表の中にいくつあるか判定する作業である．問題として与える数字と表の中の数字はランダムで出力する．

表の中には 0〜3 個ターゲットと同じ数字が存在し，被験者はその個数に応じたボタンをクリックすることで回答を行う．(次へ) のボタンをクリックすると次の問題へ進む．1 問の制限時間は 10 秒とし，5 分間テストを行う．制限時間内に回答が行われなかった場合無回答で次の問題へ進む．正解数と制限時間から 1 分あたりの正解数を求め，これを認知速度 (数字) の評価に用いる．

（10-2）認知速度 (パターン)

認知速度 (パターン) のテストとして，図形探しテストを考案した (図 3.15)．被験者がディスプレイに表示された規準となる図形パターンと全く同じ図形パターンを持つものを 4 つの選択肢の中から選び出す作業である．間違いの 3 つの選択肢はいずれも正解の図形パターンと似たものが出題される．問題の図形はランダムで生成される．

選択肢はボタンになっており正しいものをクリックすることで回答を行う．(次へ) の

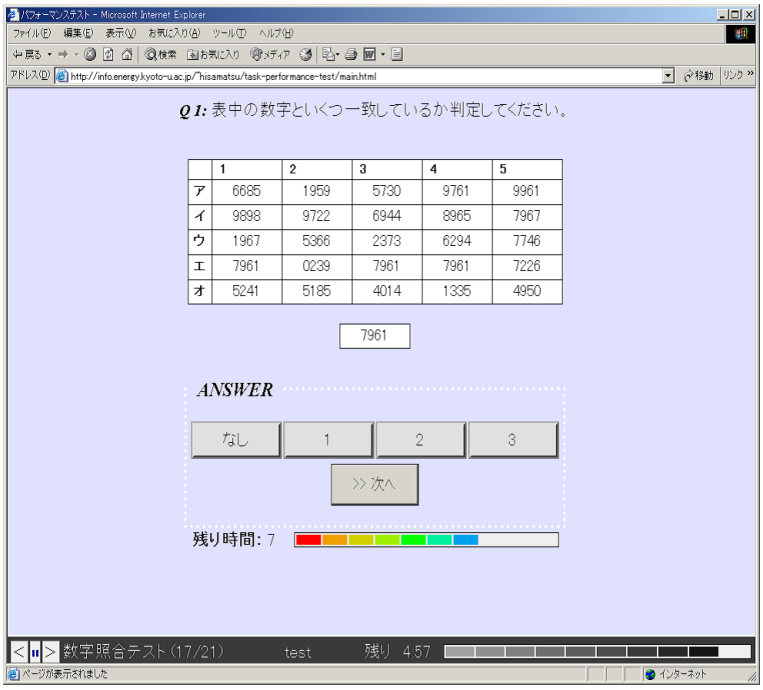

Fig. 3.14: 認知速度 (数字) のテスト画面

ボタンをクリックすることで次の問題へ進むようになっている．1 問の制限時間は 10 秒とし，5 分間テストを行う．制限時間内に回答が行われなかった場合は無回答で次の問題へ進む．正解数と制限時間から 1 分あたりの正解数を求め，これを認知速度 (パターン) の評価に用いる．

（11）時分割能力

時分割能力のテストとして，認知課題とタイピングの二重課題を考案した (図 3.16)．

認知課題は，画面左下から 1 定の速度で動いてくる 2 種類の絵 (電球と爆弾) を用意された正しいボックス (画面左上) に導くというものである．2 つのボックスに向かう道の分岐点が矢印の向いている方向に絵が流れるような分岐器になっており，Tab キーを押すことで矢印の方向が変化する．

タイピングはディスプレイの右上に表示されるアルファベットの文字列をタイピングするもので入力後 Enter キーを押すことで正誤が判定される．現れる対象物と表示されるアルファベットの文字列はランダムに生成される．

被験者は，認知課題を行いながらタイピングを行うことを要求される．テストの制限時間は 5 分とする．時分割能力の評価は，(認知タスクの正解率) × (タイピングの正

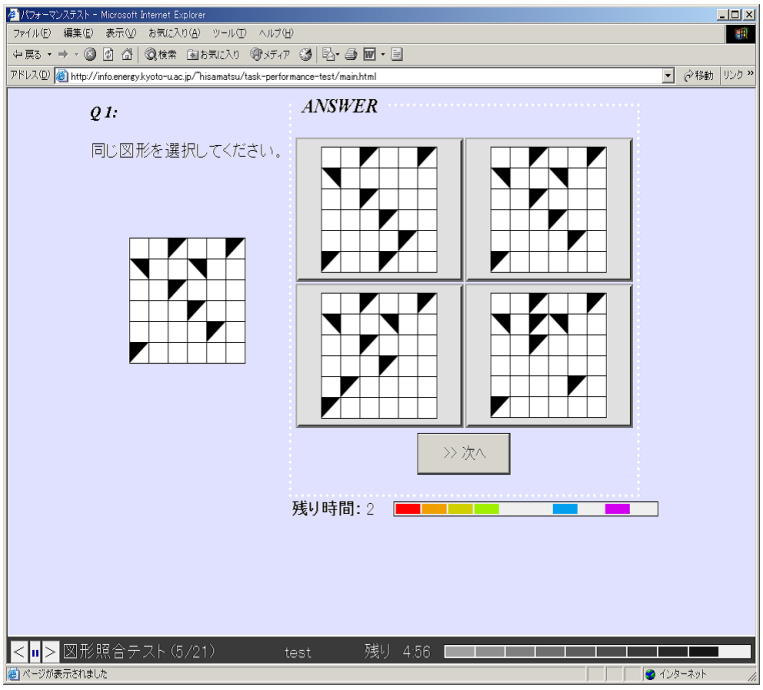

Fig. 3.15: 認知速度 (パターン) のテスト画面

解数) で行う，これを時分割ポイントとする．

3.3 オフィスワークのもたらす心理的・生理的影響の生理心理指標による評価

本研究で開発したパフォーマンステストは，オフィスワークを反映しつつ，ワーカの作業効率を直接計測できるものであり，プロダクティビティ評価に非常に有用である．しかし，テスト時間が 2 時間程度と短く，短期間のテストでは疲労やストレスなど，長期にわたり発生・蓄積する身体的・精神的影響を測ることは難しい．

そこで本研究では，これまでデスク上でのタスク評価によく用いられてきた心拍数，フリッカー，瞬目などを計測することにより，室内環境が人の生理的・心理的状態にどのような影響を与えるのかを評価する．

3.3.1 メンタルワークロード

メンタルワークロード（Mental Work Load：MWL）は精神的負担（mental stress）と精神的負荷（mental strain）を含む概念として広く捕らえられており，精神的負荷は

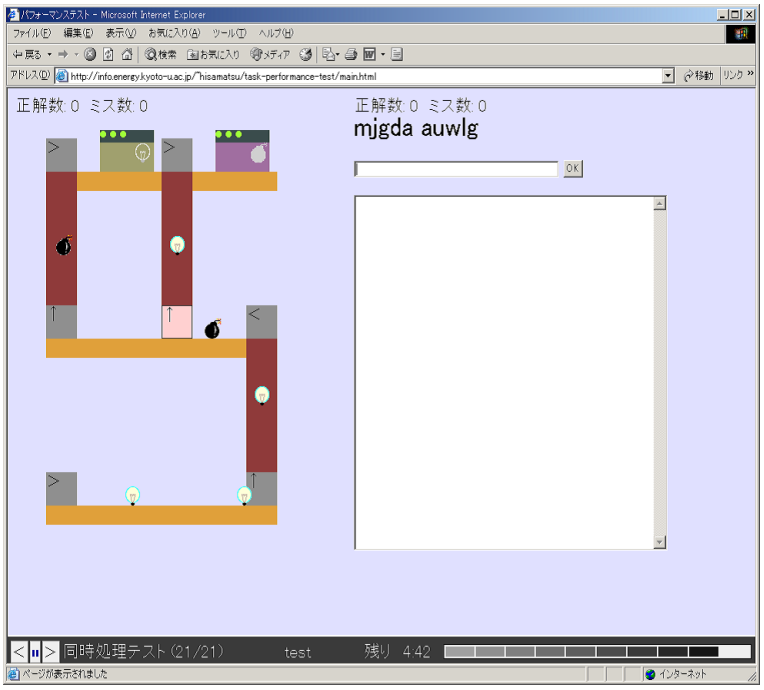

Fig. 3.16: 時分割能力のテスト画面

「外部から人間に対して及ぼし，かつ精神的に作用する評価可能な影響の全体」，精神的負担は「精神的負荷によって個人の内部に起こる影響であって，個人の対処様式を含み，個人の習慣およびしに時の条件に依存するもの」と ISO10075 で定義されている．

MWL の効果には促進的なものと減退的なものがあり，後者では精神疲労や疲労様状態（単調感，注意力の低下，心的飽和）などが発生するとされている [27]．よって，MWL が大きいとき，プロダクティビティは減少する可能性が高いといえる．

MWL の検査にはいくつかの手法が存在するが，大別すると作業中連続的に計測するものと作業前後に計測するものがある．前者の代表的なものに心拍数が挙げられる [28]．心臓は筋肉でできており，1 日に約 10 万回拍動し，1 分間に約 5l（1 日に 8t）の血液を全身に送り出している．この心臓の活動を心電図で読み取ると Fig. 3.17 に示すように，P〜T 波で構成されている．この一連の動きが心臓の鼓動であり，この鼓動の一定時間内の回数を HR と呼んでおり，ヒトの安静時の HR は 60〜90bpm である．HR は時間帯や姿勢・飲酒・喫煙など，様々な要因から影響を受ける．特に運動時には大きく変化し，最高で 180bpm にもなる．心拍は，心臓交感系と心臓副交感系のバランスで決まり，精神作業においては，心臓交感系の賦活と心臓副交感系の活動低下のいずれか，もしくは両方により上昇する．

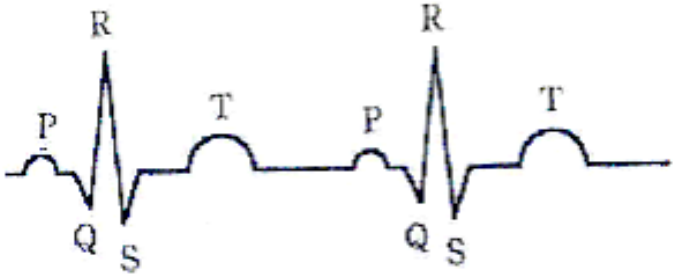

Fig. 3.17: 心拍活動

また，作業前後など，一定のポイント毎に計測を行うものとして唾液分泌物が挙げられる．MWL によって交感神経が有意になると皮膚温が上昇するなどの反応と共に唾液や尿，血液の中にアミラーゼが分泌されることが，が山口ら [30] の研究から明らかになっている．アミラーゼはすい臓，唾液腺，筋肉，肝臓，血液等に分布し，すい臓及び唾液腺が産出するといわれており，その検査法にはドライケミストリー法が多く用いられている [29]．

3.3.2 疲労

疲労現象とはある程度以上の肉体的または精神的作業の結果として，その作業または作業能率が低下する現象であり，作業負担や環境要因，人間要因によって発生する [32] 疲労の検査方法としてはこれまでフリッカー値（CFF 値）が多く用いられてきた [31]．フリッカー値とは，点滅する光源を一定条件の下に注視させ，これが連続光に見えるか，ちらついた光に見えるかの境界における点滅周波数のことを言う．フリッカー値は通常眼球や網膜の状態よりも大脳の視覚中枢の状態により変化すると考えてよい．フリッカー値は同一神経に次々と与えられる光刺激が中枢へ伝達されたときの時間間隔を識別する機能を評価するものである．この時間識別は視覚中枢を取り巻く連合野の活動に基づくものであるから，フリッカー値は連合野または知覚皮質の興奮性もしくは活動水準の代表値であるといえる [32]．

3.3.3　覚醒度

覚醒度の低下は居眠りを誘発し，正しい判断力を損なわせる危険性がある．この覚醒度判定に主に用いられるのは脳波である．しかし，脳波の計測には煩雑な電極取り付けが必要であり，正確な計測を行うことは容易ではない．一方，瞬目は眼球の保護や涙液分泌，眼筋の疲労回復や網膜感度の更新，覚醒水準と視的活動水準の維持などの機能を持ち，通常，随意性瞬目，反射性瞬目，自発性瞬目に分類することができる．このうち自発性瞬目は覚醒度やVDT作業における眼精疲労の指標に有用であるとの報告がある[33]．Caffierら[34]は瞬目のスピードから覚醒度の低下を推定する手法を開発しており，瞼の開閉時のスピードなどが覚醒度を反映していると述べている．

3.4　主観的評価手法

第2章で述べたとおり，プロダクティビティを評価するための主観評価法としてSAPが開発・利用されている．これは環境を要因（熱，音，光環境などを指す）とさらに各要因の下位要素（上下温度差，会話の聞き取りやすさ，グレアなどを指す）として認識し，各々評価を行った後，環境全体としての総合的な評価を行うものである．

一方，わが国における疲労評価，作業評価に関する研究では，疲労や眠気といった身体・精神影響をみるため，自覚症状調べ[35]が頻繁に用いられてきた．自覚症状調べは，Table3.4に示す34の質問項目から成り，それぞれ（0）感じない,（1）やや感じる,（2）感じる,（3）強く感じる,（4）非常に強く感じるからひとつを選択させるものである．

自覚症状調べの解析手法としては，各自作業前後での総合得点を比較するのに加え，質問を以下の5つの群に分類し，各群毎に評価することが可能である．

I群　ねむけ感：　ねむい, 横になりたい, あくびがでる, やる気がとぼしい, 全身がだるい

II群　不安定感：　不安な感じがする, ゆううつな気分だ, おちつかない気分だ, いらいらする, 考えがまとまりにくい

III群　不快感：　頭がいたい，頭がおもい, 気分がわるい, 頭がぼんやりする, めまいがする

IV群　だるさ感：　腕がだるい, 腰がいたい, 手や指がいたい, 足がだるい, 肩がこる

V群　ぼやけ感：　目がしょぼつく, 目がつかれる, 目がいたい, 目がかわく, ものがぼやける

Table 3.4: 自覚症状調べ

目が疲れている	指が痛い
目が痛い	指がしびれている
物がぼやけて見える	指が冷えている
目がかわいている	指がだるい
涙がたまる，でる	腰がだるい
目がちかちかする	腰が痛い
目がかゆい	体がだるい，脱力感
まぶしい	いらいらしている
まぶたがぴくぴくする	めまいがする
肩が凝っている，だるい	頭が痛い，重い
肩が痛い	頭がぼんやりしている
首が凝っている，だるい	眠い
首が痛い	考えがまとまらない
背中がだるい	気が散る
腕がだるい	きちんとできない
腕が痛い	気分がわるい
腕がしびれている	横になりたい

第 4 章 統合的評価方法確立のための基礎実験

本章では第 3 章に示したタスクセットとプロダクティビティ評価手法の検証のために行った被験者実験について述べる．

4.1 実験の目的

本実験では，開発したパフォーマンステストを用いて，室内環境をプロダクティビティという観点から，適切に評価することができるかどうかを確かめるため，室内環境を変化させたときのテストのパフォーマンスがどのように変化するかを確認する．また，生理心理指標，主観評価による評価結果がどのような変化を示し，パフォーマンスとどのような関係を持つのかを確認し，プロダクティビティをどのように評価するべきかについて考察することを目的とする．

4.2 実験計画

4.2.1 環境条件

プロダクティビティに影響を与える環境要因のなかで，特に省エネの対象となりやすいものに空調と照明がある．第 1 章で述べたとおり，人間の快適温度は 25 ℃前後であるのに対し，政府の推奨する省エネ温度設定は冷房時 28 ℃，暖房時 20 ℃となっている．そこで本実験では空調設定温度を 20・25・28 ℃とし，各環境におけるプロダクティビティ評価を試みる．

また室温以外の要素として照明に着目し，オフィスの平均的な照度 [36] である 800Lx よりもやや高めの 1000Lx の環境を設定した．本実験で設定する環境条件を Table4.1 に示す．

なお条件の表記を簡便にするため，各条件に対し条件名「普通」「暑い」「寒い」「明るい」を設定した．また，各条件の予測 PMV を算出した．

Table 4.1: 実験における環境条件

条件名	空調設定温度	照度	PMV
普通	25 ℃	800Lx	0.01
暑い	28 ℃	800Lx	1.00
寒い	20 ℃	800Lx	-1.59
明るい	25 ℃	1000Lx	0.58

4.2.2 被験者

被験者はオフィスワーク経験があり健康である被験者 A（41 歳男性），被験者 B（37 歳女性）の 2 名とした．両者とも事前に実験内容と趣旨を説明し，インフォームドコンセントを得た．また，実験期間中は飲酒や夜更かしを禁止し，毎日 6 時間以上の睡眠をとるよう教示した．

服装は一般的なオフィスワーカに準じるよう，男性はワイシャツに長ズボン，女性はブラウスに膝丈のスカートとした．

また習熟効果をなくすため，実験前日に作業課題の練習を充分行った．

4.2.3 計測項目

本実験ではタスクパフォーマンス，生理指標の計測並びに主観評価を行う．また，室内環境として室温，湿度，照度を計測し，PMV を求める．本項では各計測項目とその計測手法を述べる．なお，各計測機器の主な仕様と外観は付録 A に示す．

（1）タスクパフォーマンス

本実験では実験課題として第 3 章で設計したパフォーマンステストを用い，被験者の作業パフォーマンスを計測する．口頭理解テスト以外のタスク課題は全て PC より提示され，口頭表現テスト以外のタスクはすべて PC から回答する．口頭理解テストの課題は卓上に設置されたスピーカから音声を出力するものとし，音量は被験者自身でコントロールできるようにする．口頭表現テストの回答はビデオカメラに取り付けられた外部マイクより録音し，実験終了後に実験者が聞き取り確認する．

本テストでは，得られるパフォーマンス結果は時間や正答数等であり，その単位がテストによって異なる．そこでまず，普通条件での結果を基準（100%）とし，そこからどれだけパフォーマンスが向上／減少したかを割合（%）で表現するものとする．更

に，各テストの得点範囲をそろえるため，タスク毎の平均値で得点を割ることで正規化した．統合得点算出には，第 3 章で行ったオフィス調査で求めた重要度を重みとした加重平均を用いることとした．

（2）生理指標

本実験で取得する生理指標は心拍数，フリッカー値，瞬目，アミラーゼとする．心拍はアドバンスドメディカル株式会社製指輪型パルスオキシメータ AD7011（付録 A.1）にて計測を行い，生体情報通信端末 AD9010（付録 A.2）にてデータを受信しパソコンに入力する．

フリッカーは竹井機器工業製フリッカー値計測器 2 型 501BTKK（付録 A.4）を用い，下降法で 5 回連続計測を行い，最大・最小値を除いた 3 データの平均値を求める．

瞬目の検出方法には 120fps の高速カメラを使用する．高速カメラを用いた瞬目測定では瞬きの速度も検出可能であり，瞬目速度などによる解析も可能となる．2mm 程度のプラスチック球に再帰性反射材を貼り付けたマーカを被験者の上下の瞼に化粧用のりで接着し（Fig.4.1），それを MATROX 製高速カメラ CV A33CL（付録 A.5）で撮影，ライブラリ社製ソフトウェア Radish でトラッキングする．上まぶた，下まぶたそれぞれのマーカーの座標からマーカー間の距離を算出し，得られた瞬目波形（Fig.4.2）より，瞬目開始からまぶたの開き度が最も小さくなる peak time までの時間：closing time，peak time から瞬目終了までの時間：reopening time，それらを合計した瞬目持続時間：blink duration，及び，瞬目波形の傾きの最大最小である grad_max，grad_min を算出した．

このようにして得られたパラメータ closing time，reopening time，blink duration，grad_max，grad_min のうち，最も覚醒度を反映しているものを抽出するため，被験者を用いた予備実験を行った．実験の詳細は付録 B に示す．この予備実験の結果，closing time が最も覚醒度を反映していることが示唆されたため，本実験では closing time に着目し，解析を行う．

アミラーゼは各計測ポイントにおいて，脱脂綿を唾液腺付近にふくませ，唾液を採取した．採取した唾液は冷凍保存の後，専門機関によるアミラーゼ含有量検査を行った．

（3）主観評価

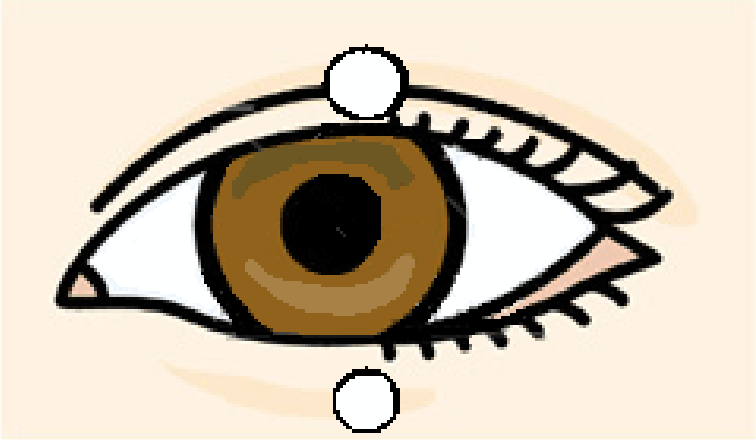

Fig. 4.1: マーカ貼り付け位置

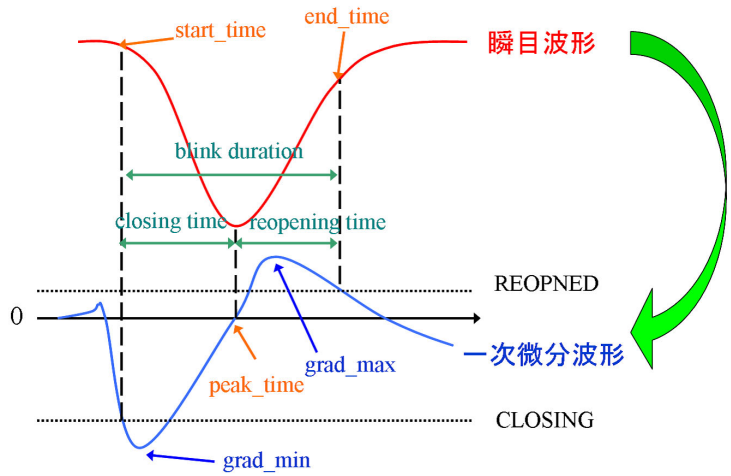

Fig. 4.2: 瞬目波形

本実験では，室内環境質や自らの作業効率を問う SAP に加え，疲労，眠気などの身体的・精神的影響を問う自覚症状調べ [35] を用いる．また，やる気やモチベーション，集中度など，生理心理指標による評価手法が確立されていないパラメータに関する以下の質問を追加する．

- 集中できない
- やる気が出ない
- 仕事の能率が落ちている

（4）室内環境計測

計測する室内環境は室温，湿度，照度とした．室温はサーミスタ LT8A（付録 A.3）で 1 分毎に計測し，その平均を求める．湿度は実験前後にマルチメータ（付録 A.6）で計測する．照度は実験前後に東京光電株式会社製照度計 ANAF11（付録 A.7）にて計測しその平均を求める．

4.2.4 実験手順

本実験で行う実験手順を Fig.4.3 に示す．実験は 1 条件につきパフォーマンステスト 1 セットを行う．作業前後および作業中に唾液を採取し，作業前後にフリッカー検査並びに自覚症状調べを行う．また作業後には SAP により室内環境並びに作業効率の主観評価を行う．

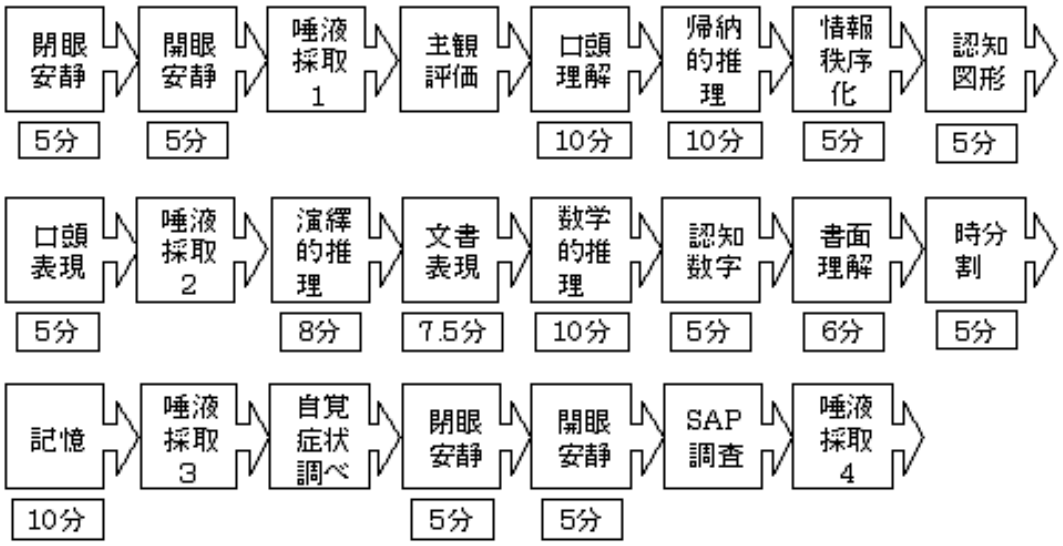

Fig. 4.3: 実験手順

4.3　実験の実施と結果の考察

4.3.1　実験日時と場所

実験は 2004 年 12 月下旬から 2005 年 1 月上旬にかけて，京都大学医学部構内先端科学研究棟の実験室（Fig.??）で行った.

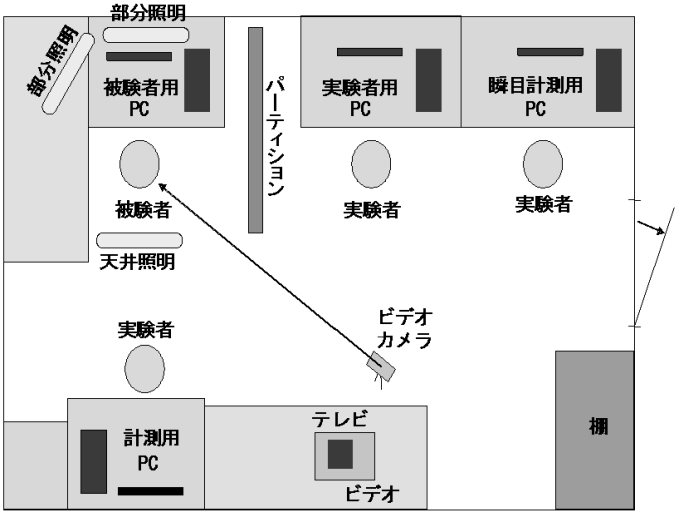

Fig. 4.4: 実験室

実験は午後 3 時から 6 時にかけて，1 日に 1 被験者，1 条件で行った．なお，各被験者における環境条件の実施順を Table4.3.1 に示す.

Table 4.2: 実験実施順

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目
被験者 A	普通	暑い	寒い	明るい
被験者 B	明るい	寒い	普通	暑い

4.3.2　実験結果

（1）室内環境

実験中の室内環境を Table4.3 に示す.

Table 4.3: 室内環境

条件名	計測項目	被験者 A	被験者 B
普通	室温 [℃]	25.1	25.6
	湿度 [%]	26.8	23.8
	照度 [Lx]	737	765
	PMV	− 0.15	− 0.02
寒い	室温 [℃]	20.8	22.5
	湿度 [%]	32.8	34.6
	照度 [Lx]	767	741
	PMV	− 1.44	− 0.9
暑い	室温 [℃]	29.4	29.8
	湿度 [%]	21.6	19.3
	照度 [Lx]	648	760
	PMV	1.16	1.26
明るい	室温 [℃]	23.3	26
	湿度 [%]	26.3	28.8
	照度 [Lx]	1000	1060
	PMV	− 0.71	0.15

Table 4.4: タスク結果一覧

		被験者 A				被験者 B			
タスク名	評価指標	普通	暑い	寒い	明るい	普通	暑い	寒い	明るい
口頭理解	正解数	4	5	4	6	11	11	9	5
書面理解	読解時間 [sec]	216	205	204	206	203	191	170	188
口頭表現	正答率	0.75	0.44	0.55	0.71	0.68	0.91	0.8	0.61
文章表現	正答率	0.47	0.44	0.55	0.71	0.5	0.5	0.63	0.54
記憶	正解数 [/min]	10.4	18.1	11.5		9.08	13	8.47	8.95
数学的推論	正解数 [/min]	0.14	0.12	0.42	0.3	0.87	0.95	1.05	0.72
演繹的推理	正解数 [/min]	3.16	1.78	3.61	4.68	2.63	4.8	1.8	3.16
帰納的推理	正解数	7	15	15	20	27	26	28	26
情報秩序化	正解数 [/min]	8.65	11.39	8.26	10.06	16	16.36	15.25	13.9
認知（数字）	正解数	37	32	32	35	26	31	31	34
認知（図形）	正解数	33	37	38	39	38	34	30	29
時分割	正解率×正答数	0.88×0	0.88×0	0.89×0	0.93×0	0.93×12	0.92×14	0.88 ×12	0.94×13

実験の結果，普通条件環境は両被験者とも 25 ℃前後の値となっており，その差も 0.5 ℃と小さかった．しかし，寒い条件被験者 B の実験では，室温がやや高くなり，暑い条件環境は共に 30 ℃弱となり，やや高めの温度となった．また，明るい条件では被験者 A のときはやや低い，被験者 B のときはやや高い室温となり，二人の室温差が約 3 ℃になってしまった．これは，今回の実験は通常の（特殊な空調設備を整えていない）実験室で行ったため，外気温や隣室の空調等が実験室の室内環境に影響したことが考えられる．

（2）パフォーマンス

パフォーマンステストの実行結果を Table4.4 に示す.

この結果より,「口頭理解」,「口頭表現」,「記憶」,「数学的推論」,「演繹的推理」,「帰納的推理」,「情報秩序化」,「時分割」の各テストでは，被験者 AB 間で結果に差が生じていることがわかる．また，この中でも「口頭理解」,「記憶」,「数学的推論」,「情報秩序化」,「時分割」は同一被験者でも環境条件の変化によってパフォーマンスが変化していることがわかる．よって，これら 5 種の作業が個人の能力を反映し，更に環境による影響を受けやすいのではないかということが推測される．よって今後，本テストをオフィスへ展開する際，長時間の作業が困難な場合には上記 5 種のタスクのみに的をしぼった簡易版パフォーマンステストセットを使用し，テスト時間を短することも

可能ではないかと思われる．

本パフォーマンステストでは，結果の単位が，時間であったり，正答数であったり，正答率であったりと，テスト毎に違っており，違う能力のテスト結果を直接比較したり統合したりすることができない．そこでまず，各テストとも普通条件での結果を 100 として点数化を行った．また，各テスト間のばらつきを小さくするために，それぞれのタスク結果を平均値によって正規化を行った．被験者 A のタスク毎のパフォーマンステスト結果を Fig.4.3.2 に示す．各作業毎の得点を見ると，記憶，数学的推論，演繹的推理，帰納的推理テストは作業環境による得点差が大きくなっている．このうち数学的推論は被験者 A にとって苦手分野だったため，正答率の水準が低く，1 問の差が数十点の差となって現れた．

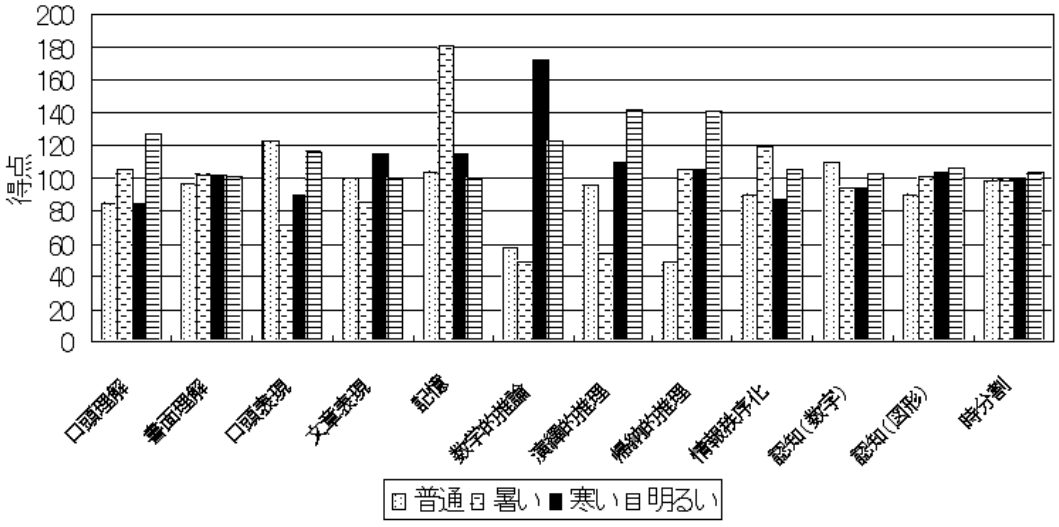

Fig. 4.5: タスクパフォーマンス結果（被験者 A）

Fig.4.6 に被験者 B のタスクパフォーマンスを示す．被験者 B においてもやはり演繹的推理テストの得点が環境によって大きくばらついた結果となった．

また，これらの各テストの得点を統合するために，第 3 章のオフィス調査で得られた重要度（Table4.3.2）を重みとした加重平均を求めた．先に示したように，各能力の重要度は職種によってその割合が大きく異なっている．本実験では事務職を想定し試算を行った．その結果を Fig.4.7 に示す．

この結果から，総合的に見て，被験者 A は普通条件が最も成績が悪く，寒い条件が

Table 4.5: オフィス作業における作業能力の重要度 [%]

職種	研究開発	事務
口頭理解	10	14
書面理解	4	12
口頭表現	12	12
文章表現	12	6
記憶	2	14
数学的推論	8	13
演繹的推理	4	0
帰納的推理	2	0
情報秩序化	8	0
認知（数字）	2	0
認知（図形）	2	0
時分割	0	7
その他	34	22

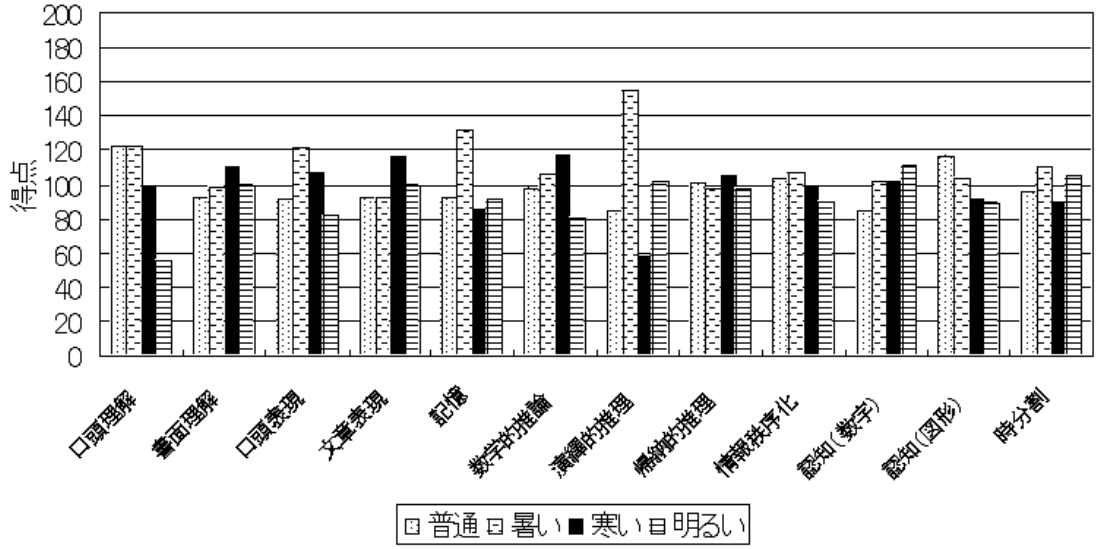

Fig. 4.6: タスクパフォーマンス結果（被験者 B）

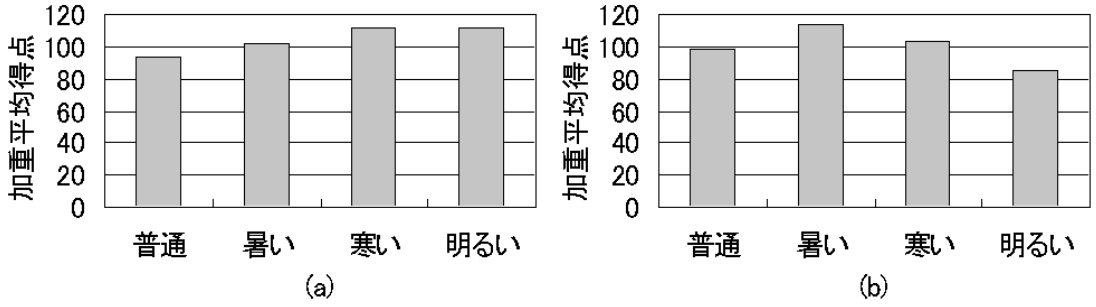

Fig. 4.7: タスクパフォーマンスの加重平均結果（a）被験者 A, (b）被験者 B

最も成績が良い結果となった．また，被験者 B は暑い条件が最も良く，明るい条件が最も悪い結果となった．このことから，被験者によって作業効率の向上する環境に違いがあることが示唆された．これは被験者の年齢や性差によるもの，また生まれ育った環境なども影響しているのではないかということが考えられる．

（3）生理心理指標

Fig.4.8 にフリッカー値の計測結果を示す．この結果から，被験者 A は作業前の計測値があまりばらついていないのに対し，被験者 B は実験日により大きくばらついたこ

とがわかる．また，絶対値ではなく，作業前後の変化量に注目した場合，被験者 A は寒い条件で，大きく値が減少しており，明るい条件でもやや減少傾向となった．被験者 B は普通条件と明るい条件で大幅な減少が見られた．

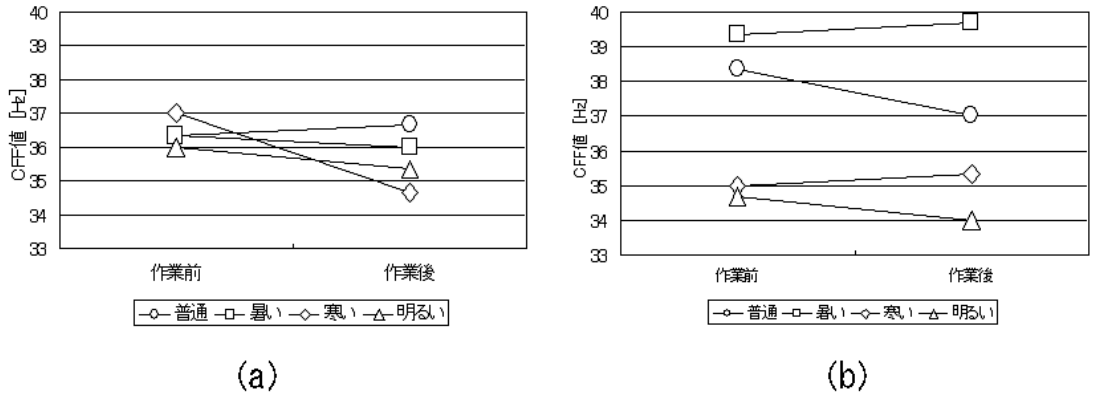

Fig. 4.8: フリッカー値変動率（a）被験者 A,（b）被験者 B

Fig.4.9 に心拍数の計測結果を示す．被験者 AB 共に寒い条件で心拍数が減少しており，被験者 A は暑い条件で，被験者 B は明るい条件で心拍が高くなった．

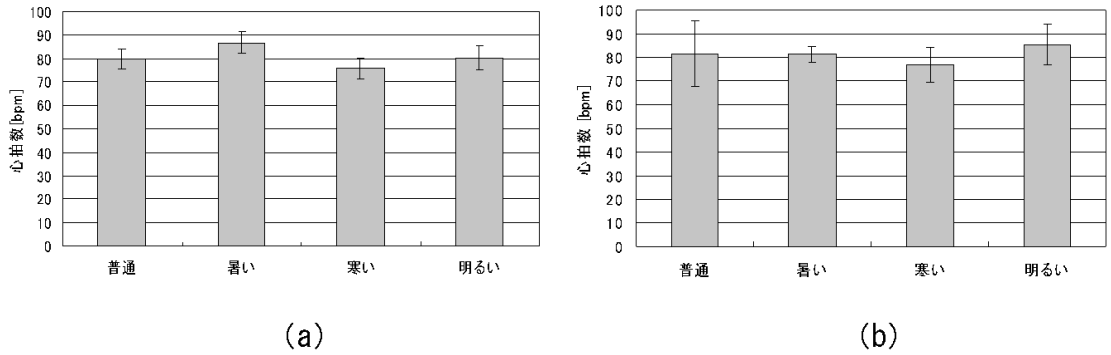

Fig. 4.9: 作業中平均心拍（a）被験者 A,（b）被験者 B

Fig.4.10 に瞬目の計測結果を示す．被験者 A は明るい条件，被験者 B は暑い条件で closing time が増大しており，覚醒度の低下が示唆された．

Fig.4.11 に唾液分泌物（アミラーゼ）の検査結果を示す．被験者 A は寒い条件で，被験者 B は寒い条件と明るい条件でアミラーゼの含有量が増加しており，その時点において大きなストレスがかかっていたことが推定できる．

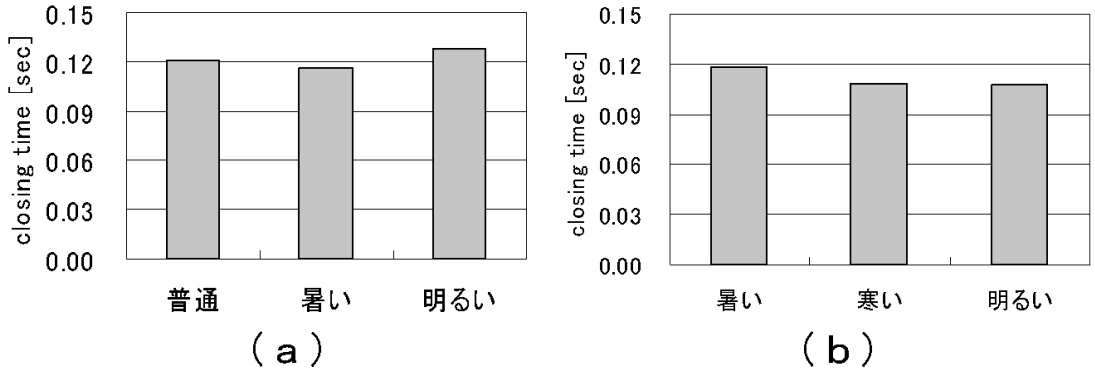

Fig. 4.10: 瞬目結果（closing time）（a）被験者 A,（b）被験者 B

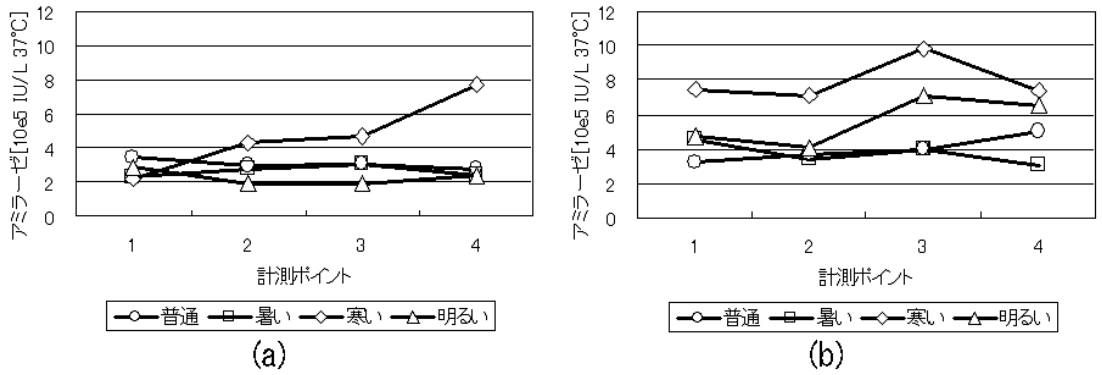

Fig. 4.11: アミラーゼ検査結果（a）被験者 A,（b）被験者 B

（4）主観評価

Fig.4.12 に自覚症状調べの結果を示す．総得点は被験者 A が暑い条件，被験者 B が寒い条件のとき高くなり，被験者 A は「ねむけ感」と「ぼやけ感」が，被験者 B は「不安定感」が多く訴えられた．

Fig.4.13 に SAP の最終設問,「最も能率のいい日に比べて，今日の作業能率はどの程度と言えますか？」に対する回答結果を示す．この結果から，被験者 A は普通条件が，被験者 B は暑い条件が最も能率がよいと感じられたことがわかる．

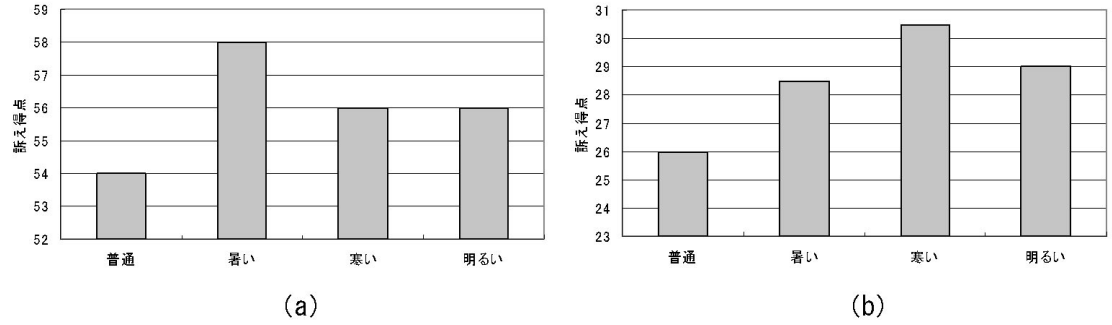

Fig. 4.12: 自覚症状調べ総得点（a）被験者 A,（b）被験者 B

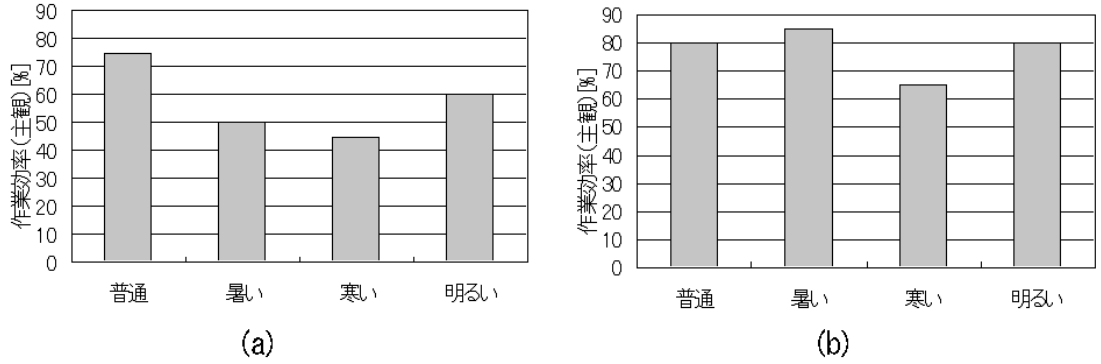

Fig. 4.13: SAP による作業効率調査結果（a）被験者 A,（b）被験者 B

4.3.3 考察

パフォーマンステストの結果から，両被験者で演繹的推理の結果がばらついたことから，何らかの問題があるものと推測された．しかし，今回は被験者が 2 名しかいないため，原因の究明には至っていない．パフォーマンスの加重平均結果を見ると，被験者 A は「寒い」「明るい」条件で結果が良く,「普通」条件が最も悪い結果となっている．また，被験者 B は「暑い」条件が最も良く,「明るい」条件が最も悪い結果となった．

一方，各生理心理指標を見ると，被験者 A は寒い条件でフリッカー値が大きく低下し，アミラーゼ分泌が促進された．また，暑い条件で心拍数が増加し，自覚症状，中でも「ぼやけ感」,「ねむけ感」の訴えが他の条件に比べ多かった．このことから，被験者 A にとって寒い条件は疲労しやすい上 MWL が大きく，暑い条件は MWL が大きく眠くなりやすい環境であることがわかる．SAP の結果を見ても寒い条件と暑い条件で

主観的作業効率が低い値となっており，被験者 A にとっては好ましくない環境であったことがうかがえる．

被験者 B は明るい条件においてフリッカー値がやや低下し，心拍数，アミラーゼ分泌量が増加し，自覚症状，特に「ぼやけ感」の訴えが高くなった．また，寒い条件においてアミラーゼ分泌が促進され，自覚症状，中でも「不安定感」の訴え得点が高い結果となった．これらのことより，被験者 B にとって明るい条件は目，精神共に疲れやすく，MWL の大きい環境であり，寒い条件はストレスが大きく，いらいらしやすい環境であったことが示唆された．更に SAP による主観的作業効率も寒い条件，明るい条件で低い値となり，被験者 B にとってこれらの環境は望ましいものではなかったことが推測される．

以上の結果から，環境条件の変化に対するパフォーマンス，生理心理指標，主観的指標の間には，全く整合性のある変動は見られなかった．その原因の 1 つに，主観評価への先入観や個人の好みの介入が考えられる．また，本実験における 1 日の作業量は 3 時間弱と，実際のオフィスワーカの労働時間の半分以下であり，実験期間も 5 日間と，非常に短期間であった．このような短時間のテストでは疲労やストレスといった長期にわたって蓄積するものがパフォーマンスに影響しないということも考えられる．しかし，同一の環境で長期間作業を行えば，そのうち必ず疲労やストレスの影響は顕著になるはずである．そこで，生理心理指標や主観的指標から身体的，精神的に長期的に影響を及ぼす要因を抽出し，統合して評価する必要がある．よって今後，更なる被験者実験を行い，タスクパフォーマンスと生理心理指標，主観的指標の関連性についてより深く考察し，どのようにして身体的・精神的負荷を評価していくかについて検討する必要がある．

本実験では，環境条件の変動に対するパフォーマンスや生理心理指標，主観的指標の変動は被験者間で違いを見せたが，今回被験者が 2 名しかおらず，その原因究明には至らなかった．しかし，少なくともプロダクティビティは少なからず個人の特性（性別・年齢・好みなど）を反映している可能性が考えられる．今後実際のオフィスで，対象者を増やした実験を行う場合，どのようにしてこの個人差を捉えるかが重要となる．しかし，このような考察はある程度の被験者数を確保した上での実験・解析が必要であり，今後の課題と考えられる．

また，本実験では能力毎に設定したタスクパフォーマンス結果を統合するため，アンケートを基にした加重平均を求めた．しかし，全ての能力テストの難易度が均一とは言い切れず，その加重平均が被験者の真の総合能力を指し示していない恐れもある．

よって今後パフォーマンステスト結果をどのように統合していくか慎重に検討する必要がある．一方，本パフォーマンステストセットは全て行うと 2 時間強の時間を要する．そのため実際のオフィスで使用する場合，多くの従業員に同時に全てのテストを課すことは経営者として痛手になることも考えうる．そこで，テスト内容を環境から影響を受けやすいものに絞り，実行時間を短縮するという方法も考えられる．今回の実験から,「口頭理解」,「記憶」,「数学的推論」,「情報秩序化」,「時分割」の各テスト結果は環境条件変動に対し，大きな変化を示すことが示唆された．しかし，未だ被験者数が少ないため，今後環境条件に対し，パフォーマンスがどのように変動するか，充分観察した上で，絞込みを行うことが望まれる．また，実際のオフィスでの調査では，心拍やフリッカーといった生理心理指標を計測することは困難になると予想される．そこで，大人数でも同時に計測可能な唾液分泌物や主観的指標にのみ重点をおき，ワーカの長期的な身体的・精神的負荷を計測する手法の考案が必要である．

第 5 章 プロダクティビティ統合評価指標の提案

オフィス環境のプロダクティビティ評価には，長期的な影響をも見通し，定量的かつ客観的に作業効率を評価する必要がある．そこで本研究ではパフォーマンス，主観評価，生理心理指標を統合し評価する手法について考察することとした．しかし，これら各指標の得点を純粋に足したり掛けたりしたものが作業効率といえるとは限らない．そこでまずプロダクティビティと作業効率，パフォーマンス，生理心理指標，主観評価がどのような関係にあるのかを表す評価用モデルを構築し，それに基づくプロダクティビティ評価手法を提案する．

5.1 プロダクティビティ評価モデルの提案

5.1.1 モデルの構築

前述したとおり，プロダクティビティ経済指標はオフィスビルへの投資効果を確認するための経済的指標であり，オフィスワーカの作業効率と関係コストの比で表される．つまり，プロダクティビティは人件費や設備投資費用，エネルギー費等コストとプロダクティビティに影響を受ける（モデル 1：Fig.5.1）．このプロダクティビティをどのように表現するかが重要となる

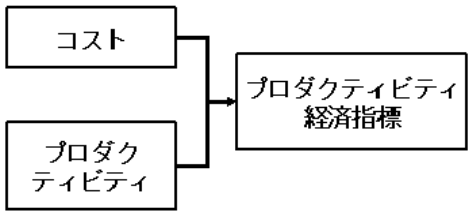

Fig. 5.1: モデル 1：プロダクティビティ経済指標とプロダクティビティ，コストの関係

ここで言うプロダクティビティとは一見パフォーマンステスト結果と同一であるかのようだが，前述した通り，作業効率の評価には長期的な影響も考える必要がある．

そこでまず，プロダクティビティは短期的なパフォーマンと，ワーカの肉体的・精神的状態とを統合したものと考えるべきである．肉体的な疲れや眼精疲労，肩こりや眠

気など，生体負荷が大きく，肉体的機能が低下している状態では作業効率は減少する．また，人間関係がうまくいかない，気が滅入る，やる気が起きないなどの心理状態はやはり作業効率を減少させる方へ働く（モデル 2：Fig.5.2）．

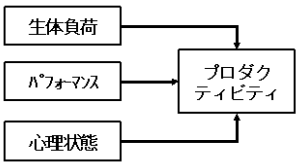

Fig. 5.2: モデル 2：作業効率に影響する生体負荷と心理状態

室内環境は，例えば「ぽかぽかしているため眠い」,「周りがうるさいので集中できない」といった状況が考えられることから，肉体的機能と心理状態の両方へ影響するとみなすことができる．また，室内環境は直接パフォーマンスにも影響する.「照明が暗すぎるため書類の文字が読めない」といったようなシチュエーションがこれに相当する（モデル 3：Fig.5.3）．

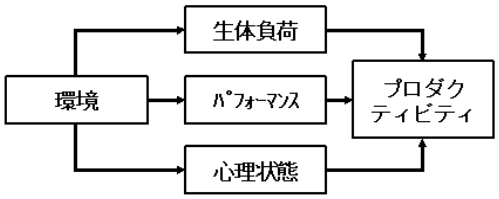

Fig. 5.3: モデル 3：各要素への環境の影響

これらをとりまとめ，本研究で最終的に提案するモデルを Fig.5.4 に示す.

このモデルから，作業効率には環境によって変化する生体負担と心理状態とが並列に作用していることがわかる．ここで，作業効率を **S**，パフォーマンステストの成績を **P** とし，身体負担と心理状態の影響を総合して **L** と置くと，モデル 2 は

$$S \;=\; P \cdot aL \tag{5.1}$$

（a は定数）

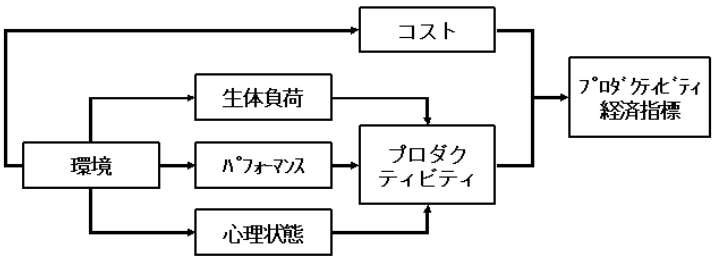

Fig. 5.4: プロダクティビティ評価モデル

で表すことができる.

このとき，長期的な身体負荷・心理状態を総合した値 **L** は，主観評価と生理指標によって得られたストレス，疲労，覚醒度低下などの心理的・生理的影響の重みつき加算である.

$$L \;=\; b \cdot X \tag{5.2}$$

$$L = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & \cdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{ストレス} \\ \text{疲労} \\ \text{覚醒} \\ \vdots \end{pmatrix} \tag{5.3}$$

（行列 **b** は定数行列）

また，行列 **X** の要素である疲労やストレスなどは心拍，瞬目，自覚症状調べなどの各計測項目の，変化量から求めることができる．生理心理指標並びに主観評価の変化量を n 行の縦行列 **M** とすると,

$$X \;=\; c \cdot M \tag{5.4}$$

$$X = \begin{pmatrix} c_{1,1} & \cdots & c_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n,1} & \cdots & c_{n,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_1 \\ \vdots \\ M_n \end{pmatrix} \tag{5.5}$$

（行列 **c** は定数行列）

5.1.2　モデルに対する考察

本研究で提案したモデルはWoodsら[14]のモデル（Fig2.3）を簡略化したものとも捉えることができる．本モデルの「作業効率」は「Occupant Performance」に,「コスト」は「Cost Factors」に,「環境」は「Physical Factors」に,「生体負荷」と「心理状態」は「Human Responses」にそれぞれ対応している．本モデルでは作業効率はパフォーマンステストの得点に代表される．しかし，数時間や数日のテストパフォーマンスのみからでは，疲労やストレスといった長期的な影響を推定することは難しい．そこで生理心理指標の変化量 $\mathbf{M}$ を用いて長期的ベースラインを推定することが可能となっている．そしてこれらを統合することで，一時的効果のみではなく，長期的な効果も考慮した総合パフォーマンスが評価可能となる．一方，各計測項目の結果からストレスや疲労などの生理的・心理的影響を求めるための重み行列　$\mathbf{c}$，各身体・生理影響から総合的な生体負荷を求めるための重み行列　$\mathbf{b}$，身体負荷負荷・室内環境とパフォーマンス結果を介する定数 $\mathbf{a}$ は今後実験などを通し，明らかにしていく必要がある．

第 6 章 結論

これまで，企業経営者達は，省エネを行い，コストを削減することに重きをおいてきた．しかし，室内環境改善がワーカのプロダクティビティを向上させ，利益を増大させる可能性が示唆されており，プロダクティビティを向上させる室内環境作りが注目されようとしている．しかし，プロダクティビティを定量的かつ客観的に評価できる手法は未だ確立されておらず，その開発が望まれている．そこで本研究ではオフィスワークを反映するパフォーマンステストを開発し，その結果と生理心理指標，主観評価を統合することで，より定量的かつ客観的にプロダクティビティを評価する手法について研究を行った．

2 章では研究の背景として，現在までになされてきたプロダクティビティに関する研究についてまとめ，その評価手法について検討を行った．

3 章ではオフィスワークのタスク分析を行い，それを反映するパフォーマンステストセットを開発した．また，その結果を裏づけ，長期的なベースラインを推定するための生理心理指標と主観評価手法について考察した．

4 章では開発したパフォーマンステストセットを用いた被験者実験を行い，得られたパフォーマンス結果と生理心理指標並びに主観評価とを比較し，テストの妥当性について検証した．その結果，タスクパフォーマンスは室内環境を適切に評価できることがわかった．また，同時に取得した生理心理指標から，長期的な影響要因を抽出し，考察する必要があることがわかった．

5 章では，実験の結果を鑑み，プロダクティビティを評価するためのモデルを考案した．また，パフォーマンステスト結果に長期的な影響を取り入れた，統合評価手法の提案を行った．

以下に本研究のまとめを記す

- プロダクティビティに関する既存研究をまとめた
- オフィス分析を行い，オフィスワークに必要な能力とその重要度を抽出した
- プロダクティビティ定量評価のためのパフォーマンステストセットを開発し，評価した

- プロダクティビティ評価モデルを提案し，その妥当性を検証した
- パフォーマンス，生理心理指標，主観評価を用いた，プロダクティビティ統合評価手法を考案した

本研究により，プロダクティビティの定量的かつ客観的評価への道が開け，今後のオフィス環境評価に大きく貢献したものと考えられる．今後，より精度よくかつ簡便にオフィスでの実地調査が行えるよう，改良を加える必要がある．

以下に今後の課題を示す．

- オフィス調査の調査対象人数を増やし，職種を拡大する
- より多くの被験者でラボ実験を行い，生理心理指標・主観評価とタスクパフォーマンスの関連性について考察する．
- 評価システムの実際のオフィス環境への展開

今後プロダクティビティを，いつでもどこでも簡単に評価することができるようになれば，日本経済並びに地球環境にとって，よりよいオフィスが実現することが期待される．

謝 辞

本研究を進めるにあたり，研究の方向性から研究の位置付け，論文のまとめ方等，細部に至るまで，適切かつ暖かい御指導を頂いた吉川榮和教授に深く感謝いたします.

研究全般にわたって親身になって直接御指導していただき，数々の適切な御助言を頂き，論文の執筆まで暖かく導いてくださった下田宏助教授に心から感謝いたします.

また，研究をご指導いただき，実験室の手配・整備にご協力いただいた上，ノルウェーの北の大地に在りながらも，ファンタスティックなお土産を贈っていただいた石井裕剛助手に深く感謝いたします.

また，本研究を行うにあたり，研究の指針作りから実験，論文執筆に至るまで，ご指導・ご助力を賜りました松下電工株式会社の大林史明様，寺野真明様，福島省吾様，岩川幹生様に深く感謝いたします.

オフィス調査におきましては，アンケートの作成・実施を行っていただき，研究に関する数々のアドバイスを頂いた大阪大学大学院の伊藤京子助手に心より感謝します.

また，本研究を進めるにあたり，わりと無理矢理なスカウトに応じ，実験，プログラム作成，データ解析等，多大なる御尽力を頂いた修士１回生の冨田和宏君に深く感謝します.

本チーム入りを自ら志願し，ありとあらゆる無理難題に応じ，更に実験，解析，論文作成等に甚大なご助力を賜りました修士１回生の服部瑶子さんに心より感謝いたします.

パフォーマンステストの考案から実験の実施まで，多大なるご協力を頂き，私はたいした指導もしていないにも関わらず見事大論文を書き上げた学部４回生の久松岳史君に賞賛と御礼を申し上げます.

パフォーマンステストの実装並びに実験に関する細々とした雑務を実に快く引き受けて下さいました修士１回生の関山友輝君，論文の執筆に御協力頂いた修士１回生の宇田旭伸君に御礼申し上げます.

また，共に研究に励み，雪と戯れ，様々な場面で支えあった，修士２回生の前島真行君，本郷泰司郎君，西村泰典君，佐野真治君，今木智隆君に心より感謝いたします.

さらに，日頃から何かとお世話頂いた谷友美さん，遠く北京から，暖かい励ましの言葉と素敵なカードを贈って下さいました吉川万里子さん，普段の研究室生活をご支

援いただいただけでなく，深夜一緒にポップコーンを作ってくださったり，つまらない話に耳を傾けていただいた駒井遥さんに心から御礼申し上げます.

そして最後に，出来の悪い娘を齢 24 まで育てていただき，私を支え，励まし，導いてくれた両親と，様々な御支援・御助力をいただいたすべての方々に心から感謝いたします.

参 考 文 献

[1] 総務省統計研修所：第五十四回　日本統計年鑑　平成 17 年; 総務省統計局, (2005). http://www.eccj.or.jp/

[2] 資源エネルギー庁長官官房総合政策課:総合エネルギー統計;通商産業研究社, (2004)

[3] 省エネルギーセンター HP; http://www.eccj.or.jp/ , (2005 年 1 月現在).

[4] M.Brill et al.：Using Office Design to Increase Prosuctivity Volume 1; Buffalo Workplace Design and Productivity Inc., (1984).

[5] G.A. Heath and M.J. Mendell: Do Indoor Environment in schools Influence Student Performance? A Review of the Literature; Indoor Air 2002, pp.802-807,(2002).

[6] P.O.Fanger: Thermal comfort; McGraw Hill Book Company, (1972).

[7] G.Lomonaco et al.:Environmental Satisfaction, Personal Control and Positive Correlation to Increased Productivity, Johnson Controls,(1997)

[8] 橋本, 寺野, 杉浦, 中村, 川瀬, 近藤: 室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究第 1〜4 報; 平成 15 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集,(2003).

[9] （社）ニューオフィス推進協議会（編）：平成 13 年度オフィス実態調査報告書, (2002)

[10] W.J.Fisk: Review of Health anda Productivity Gains from Better IEQ; Healthy Building 2000,pp.23-34 ,(2000).

[11] Indoor Health and Productivity Project; USA, http://www.dc.lbl.gov/IHP/ , （2005 年 1 月現在）

[12] 中島:日本経済の生産性分析; 日本経済新聞社, (200).

[13] NEMA: Lighting and Human Performance; A Review, A report sponsored by the Light Equipment Division of the National Electrical Manufacyures Associetion and the Lighting Reserch Institute ,(1989).

[14] N.P. Sensharma and J.E. Woods：An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, Occupant Performance, and Productivity, Healthy Building 2000, Workshop 9,(2000).

[15] W.J.Fisk, et al：Worker Performance and Ventilation, Part1, 2, Proceedings of Indoor Air 2002, pp.784-795, (2002)

[16] W.M.Kroner and J.A.Stark-Martin：Environmentally Responsive Workstation and Office-Worker Productivity：ASRAE Trans. Symposia, 1994Review of Health anda Productivity Gains from Better IEQ; Healthy Building 2000,pp.23-34 ,(2000).

[17] P.Wargocki, D.P.Wyon and P.O.Fanger：Productivity is Affected by the Air Quality in Offices, Healthy Building 2000, pp.635-640, (2000)

[18] 西原, 田辺：自己調節可能な気流環境が知的生産性に与える影響に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.173-176,(2002)

[19] N.Nishihara, Y.Yamamoto and S.Tanabe:Effect of Thermal Environmenton Productivity Evaluated by Task Performances, Fatigue Felling and Cerebral Blood Oxygenation Changes, Proceedings:Indoor Air 2002, pp.828-833, (2002)

[20] 橋本, 寺野, 杉浦, 中村, 川瀬, 近藤: 室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究第 5〜6 報; 平成 16 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集,(2004).

[21] 西原, 田辺：自己調節可能な気流環境が知的生産性に与える影響に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会後援論文集, pp.173-176, (2002-9)

[22] D.P.Wyon and W.J.Fisk：Research Needs and Approaches Pertaining to the Indoor Climate and Productivity, Healthy Building 2000 Workshop Summaries,（2000）

[23] Edwin A .Fleishman , Maureen E. Reilly, Handbook of Human Abilities, Consulting Psychologists Press, pp1-37, (1992)

[24] 吉川, 下田, 長井, 小島：マンマシンインターフェイスにおける人間のオンライン認知情報処理特性に関する基礎実験研究；システム制御情報学会論文誌,Vol.3, No.9, pp.261-276 (1990).

[25] 佐伯胖（編）：認知心理学講座 3 －推論と理解－ ，東京大学出版会,pp. 157-170, (1982)

[26] 市川伸一（編）：認知心理学 4 －思考－, 東京大学出版会，pp.189- 204，(1996)

[27] 宮田（監）：新生理心理学 3 巻, 北大路書房，(1998)

[28] 田村（編）：ヒューマンインタフェース, オーム社，(1998)

[29] 株式会社 SRL：アミラーゼ検査マニュアル第 5 版；(2001).

[30] 山口，高井：唾液は語る；工業調査会，(1999)

[31] 西村，森本：精神疲労推定のための CFF の測定方法と条件の検討－ VDT 作業による疲労を対象として－；人間工学，Vol.22 No.4，pp. 203-210，(1986)

[32] 加藤，大久保：初学者のための生体機能の測り方，日本出版サービス，(1999)

[33] 田多，山田，福田：まばたきの心理学；北大路書房，(1991)

[34] P.P. Caffier, U. Erdmann, P. Ullsperger：Experimental evaluation of eye-blink parameters as a drowsiness measure，European Journal of Applied Physiology, pp.319-25，(2003)

[35] 日本産業衛生学会・産業疲労研究会編集委員会（編）:産業疲労ハンドブック; 労働基準調査会, (1988)

[36] 照明学会（編）:照明ハンドブック第 2 版; オーム社, (2003)

付録 A 計測機器の仕様と外観

A.1 アドバンスドメディカル社製指輪型パルスオキシメータ AD7011

外観：Fig.A.1，仕様：TableA.1

Fig. A.1: パルスオキシメータ

A.2 アドバンスドメディカル社製生体情報通信端末 AD9010

外観 Fig.A.2，仕様：TableA.2

A.3 GRAMCorpration 製サーミスタ LT8A

外観：Fig.A.3，仕様：TableA.3

Table A.1: パルスオキシメータの仕様

型番	AD7011
測定方式	2 波長吸光度法
測定範囲	30〜99 %, 30〜199bpm(脈拍数)
測定精度	81〜99 %± 2 %, 61〜80 %± 3 % ± 5 % (脈拍数)
電源	3V(CR2032) 0.019W
測定部位	手指根
送信間隔	1 分または 10 分ごと／過去 1 時間のデータ
使用温湿度範囲	10〜40 ℃ 90 % RH 以下
保存温湿度範囲	− 20〜60 ℃ 90 % RH 以下
寸法	24.5mm × 24.5mm × 35mm
重量	18g

Table A.2: 情報通信端末の仕様

型番	AD9010
主電源	AC100V10 % 50/60Hz
使用条件	10-35 ℃, 35-80 % RH(結露しないこと)
保管条件	− 10-50 ℃, 35-90 % RH(結露しないこと)
最大消費電力	26VA
寸法	174mm × 95mm × 58mm
重量	450g

Fig. A.2: 生体情報通信端末

Fig. A.3: サーミスタ

A.4 竹井機器工業製フリッカー値計測器2型501BTKK

外観：Fig.A.4，仕様：TableA.4

A.5 MATROX製高速カメラCV A33CL

外観：Fig.A.5，仕様：TableA.5

Table A.3: サーミスタ仕様

型番	LT8A
方式	デジタルリニアライズ法
温度入力分解能	0.01 ℃
温度入力範囲	− 80〜150 ℃
時間分解能	1 分
使用環境	5〜35 ℃、20〜80 % R.H.
データ転送方式	高速同期式シリアル転送
外形寸法	61mm × 98mm × 26mm

Table A.4: フリッカー値測定器仕様

フリッカー値表示	デジタル表示
チラツキ視野照度	500Lx　± 10%
周辺視野照度	100Lx　± 40%
可変範囲	20〜60Hz　± 10%
フリッカー変化方法	自動
外形寸法	157(W)mm × 135(H)mm × 355(D)mm

Table A.5: 高速カメラ仕様

画像サイズ	640 × 480pixels
フレームレート	120fps
露光モード	パルスコントロールモード
フィルタ	可視光フィルタ

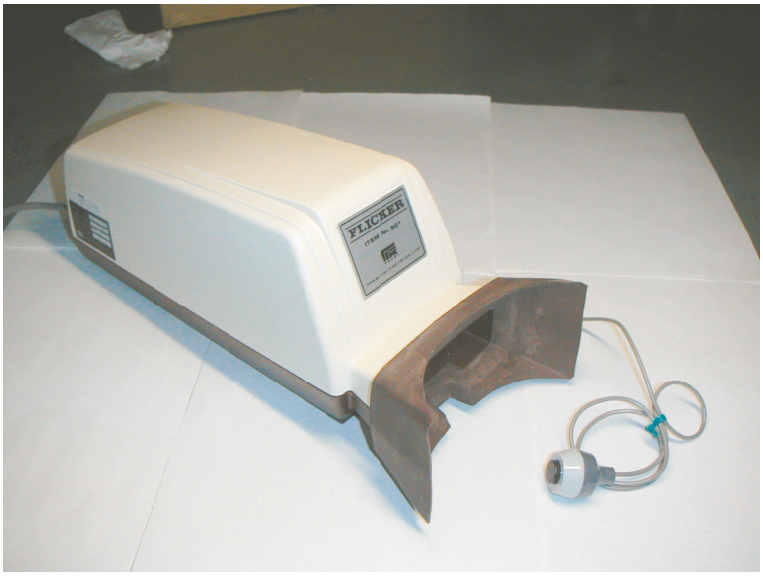

Fig. A.4: フリッカー値測定器

Fig. A.5: 高速カメラ

A.6 マルチメータ

外観：Fig.A.6，仕様 TableA.6

A.7 東京光電株式会社製照度計 ANAF11

外観：Fig.A.7，仕様：TableA.7

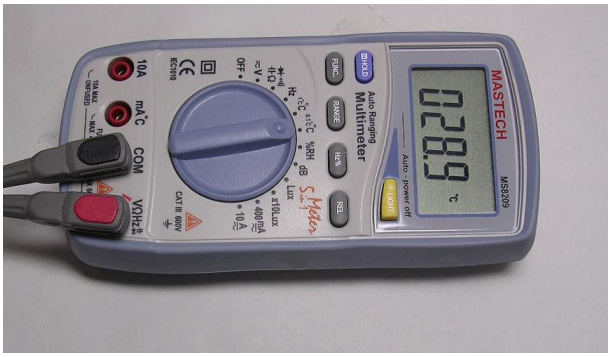

Fig. A.6: マルチメータ

Table A.6: マルチメータ仕様

表示方式	LCD
サンプリングレート	2.5Hz
湿度計測範囲	30〜90%
湿度計測分解能	0.1%
湿度計測精度	± 5.0%RH
騒音計測範囲	35〜100dB,100〜10Hz
騒音計測分解能	0.1dB
騒音計測精度	± 3.5%dB at 94dB 1kHz sine wave
外形寸法	158mm × 78mm × 98mm
使用可能温度条件	0〜40 ℃

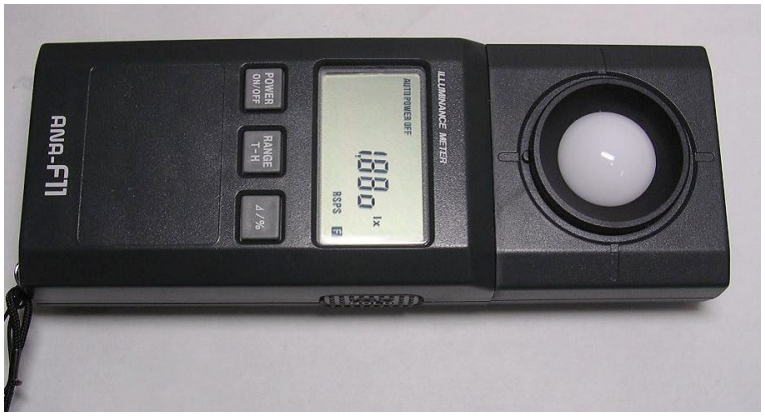

Fig. A.7: 照度計

Table A.7: 照度計の仕様

型番	ANA-F11
階級	ＪＩＳ　C 1609-1993
光電素子	シリコンフォトダイオード
液晶表示	7 桁
最大有効表示	999 ＋桁位表示
測定周期	2 回/s
測定範囲	0.0〜/99.9/999/9990/99990/999000 1x
確度	23 ℃± 2 ℃基準
応答時間	自動レンジ　5s 以下,　手動レンジ　2s 以下
斜入射光特性	10 ± 1.5 %
可視域相対分光応答度特性	標準分光視感光率からの外れ fs
温度特性	23 ℃基準
湿度特性	± 3 %
レコーダ出力	1V ± 5 %以下
使用温度	− 10 ℃〜40 ℃
使用湿度	80 %　RH 以下
電源	AC アダプター
寸法	67mm × 177mm × 38mm
重量	260g

付録 B 瞬目による覚醒度推定のための基礎実験

B.1 実験の目的

本実験では，作業者の瞬目波形を解析し，得られたパラメータより作業者の覚醒度を推定する手法を検討する．また，その手法の有効性を検討する．

B.2 実験方法

B.2.1 実験手順

実験は，2004 年 12 月 1 日，京都大学先端科学研究棟において行った．被験者は健康な女性 1 名 (23 才) とし，事前に実験内容と趣旨を説明し，インフォームドコンセントを得た．被験者には覚醒度を低下させるため， Fig. B.1 に示すような単純な加算課題をタスクとして行わせた．これはディスプレイ上に表示された三つの数字のうち左の二つを加算し，その一の位の値をテンキーを用いて入力するというものである．実験は，5 分間の閉眼安静，5 分間の開眼安静の後，先に述べた加算課題を 50 分間行い，再び 5 分間の開眼安静，5 分間の閉眼安静を行わせた．また実験中，脳波形を用いて脳波 (O1,O2) を，高速カメラを用いて瞬目波形を記録した．実験の様子を Fig. B.2 に示す。

B.2.2 取得瞬目指標

瞬目波形より得られる指標として，Fig. B.3 に示すように，瞬目開始からまぶたの開き度が最も小さくなる peak time までの時間：closing time，peak time から瞬目終了までの時間：reopening time，それらを合計した瞬目持続時間：blink duration，及び，瞬目波形の傾きの最大最小である grad_max，grad_min をとった。今回の実験では，離れた地点に固定されたカメラ画像より瞬目波形を得ているため，まぶた間の距離情報はカメラと被験者の距離により影響を受ける．そのため，ここでは距離による影響を受けない closing time，reopening time，blink duration の三つの指標に特に注目することとする．

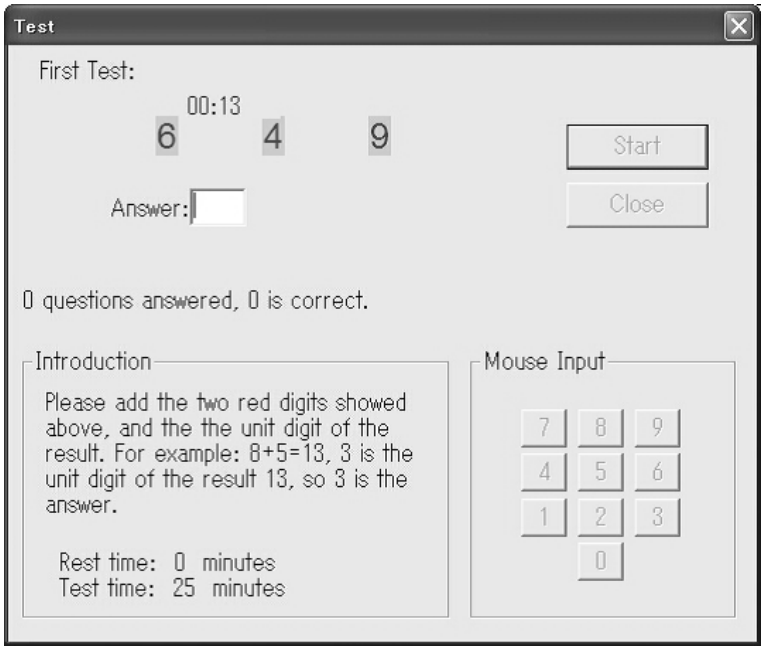

Fig. B.1: 加算タスク

Fig. B.2: 覚醒度推定実験の様子

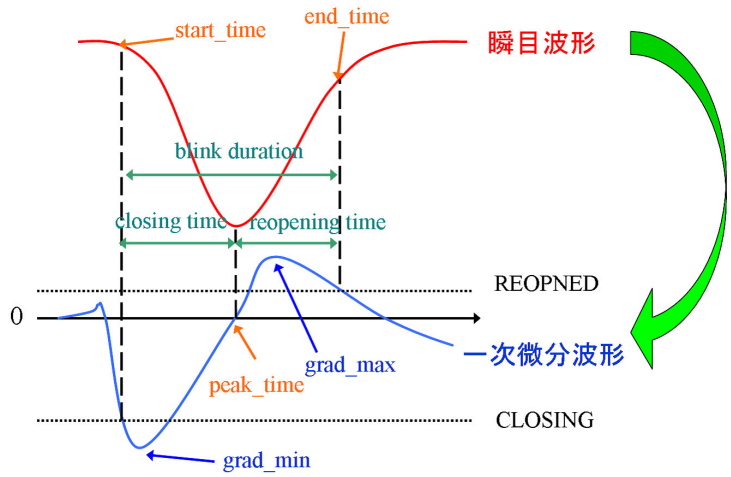

Fig. B.3: 瞬目パラメータ

B.3 結果と考察

脳波データ及びビデオ解析による被験者の観察から，安静時，加算タスク時それぞれにおいて、高覚醒度時と低覚醒度時を抽出した．それぞれにおける瞬目の各パラメータの平均値を Fig. B.4 に示す。安静時，加算タスク時ともに，高覚醒度時に比べ低覚醒度時では，closing time，blink duration が長く，grad_max，grad_min が小さくなっている．ここで，先に述べたように傾きデータは被験者とカメラの距離による影響を受けており，また blink duration の増加は closing time の増加によるものである．このため，覚醒度を推定する瞬目指標として closing time が有用であると考えられる．

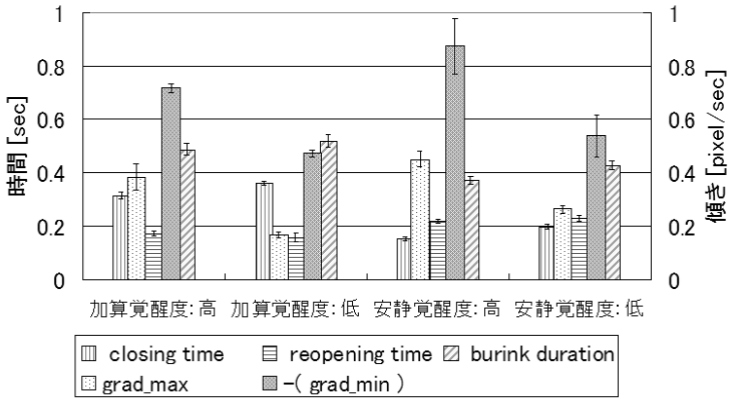

Fig. B.4: 瞬目による覚醒度推定の実験結果