

オフィスワークの生産性の向上のための 環境制御法の研究 - プロダクティビティ評価法 CPTOP の開発 -

下田宏*1 服部瑤子*2 富田和宏*3 河内美佐*4 石井裕剛*1
大林史明*4 寺野真明*4 吉川榮和*1

A Study on Environmental Control Method to Improve Productivity of Office Workers
- Development of Productivity Evaluation Method, CPTOP -

Hiroshi Shimoda,*1 Yoko Hattori,*2 Kazuhiro Tomita,*3 Misa Kawauchi,*4 Hirotake Ishii,*1
Fumiaki Obayashi,*4 Masaaki Terano*4 and Hidekazu Yoshikawa*1

Abstract

The authors have developed a performance test, CPTOP (Cognitive Performance Test of Productivity), which combines 11 basic tasks to evaluate intelligent abilities of office workers in order to quantitatively and objectively evaluate their productivity by controlling office environment. However, in the previous experiment, it was found that the results of CPTOP contain influences of learning effect and variation of difficulties depending on each problem set. In this study, therefore, subjective experiments have been conducted in order to cancel these influences and a correction method has been proposed.

Keywords : Productivity, Office Environment, Task Performance, Learning Effect

1. はじめに

近年の著しい情報通信技術の進展により情報機器が広く普及してきているのと同時に、新しい情報社会が到来している。情報社会では、PC やインターネットをはじめとする情報関連機器が社会インフラとして整備され、人々のライフスタイルが変わるだけでなく、情報や知識が社会の主要な価値として重要視される。一方、我が国では急速に少子高齢化が進み、現在では65歳以上の人口比率が最も高く、15歳以下の人口比率が最も低い国となっている。特に天然資源の少ない我が国の将来を考えると、価値を持つ知的生産の向上が急務である。

本研究では上記の背景に鑑み、特にオフィス作業の知的作業の生産性の向上するためのオフィス環境の改善を目指す。オフィス作業者の知的生産性に影響を与える要因として室内環境に着目した研究は、欧米を中心に盛んに行われてきており^{[1][2][3]}、1984年のBrillらの研究報告^[4]に始まり、空気環境、温熱環境、光環境、音環境、空間環境などと知的生産性の関係が検討されている。

知的作業の生産性の向上を図るためには、知的作業の生産性そのものを客観的かつ定量的に計測し、その向上効果を評価する必要がある。しかし、オフィスでの知的作業は、単純な頭脳労働から不定形で創造的な知的活動まで様々な種類があり、それらの生産性を客観的に計測するのは非常に難しい。

著者らはこれまでオフィスでの知的作業の生産性を定量的かつ簡便に評価する方法としてプロダクティビティ評価法 CPTOP (Cognitive Performance Test for Office Productivity) を開発してきた^[5]。CPTOP は、Fleishman ら^[6]によって21種類に分類された人の知的能力をもとに、オフィス作業者に対するアンケート調査を行い、オフィスワークに重要な11種類の能力に対応するタスクテストを作成したものである。そして、オフィス作業者のタスクパフォーマンスを計測する際には、その作業に要求される能力の割合を事前に調査しておき、11種のタスクテストの結果を能力の割合によって重み付けすることによりタスクパフォーマンスを客観的かつ定量的に評価しようとするものである。

しかし、CPTOP を用いたオフィス環境評価実験の結果^[7]から以下の問題があることがわかった。

- タスクテストの結果に習熟の効果が見られること
- タスクテストを構成する各問題に難易度のばらつきが見られること

すなわち、タスクテストに慣れてきているかどうか、あ

*1: 京都大学大学院エネルギー科学研究科

*2: 現在、パロマ

*3: 現在、トヨタ自動車株式会社

*4: 松下電工株式会社

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

*2: Present, Paloma

*3: Present, Toyota Motor Corporation

*4: Matsushita Electric Work, Ltd.

るいはタスクテストの問題の難易度によりテスト結果が異なるため、タスクパフォーマンスを定量的に計測することが難しい。

そこで、本研究では、これらの習熟効果や難易度のばらつきを評価しタスク結果を補正することで、これらの影響を取り除くことを試みた。

2. プロダクティビティ評価法 CPTOP

2.1 CPTOP の設計コンセプト

CPTOP はオフィス作業を反映し、オフィス作業者の作業効率を定量的かつ客観的に評価できるパフォーマンステストとなることを目指している。しかし、オフィス作業は多様かつ非定形であり、特定の業務作業に適応させたパフォーマンステストでは汎用性を欠く。そこでオフィス業務に必要とされる要素能力群を明らかにし、そのパフォーマンスがどの程度活現できるかを評価することにより、オフィス作業効率を評価する。さらに実際のオフィス作業に即したものにするためにフィールド調査を行い、職種ごとに要される要素能力群の構成を明らかにし、それに基づき総合的な執務作業効率を評価する。特定環境のオフィス作業生産性指標評価には、予め規定する標準環境における執務作業効率の職種別平均値との比較によりオフィス作業生産性指標を算出する。環境改善評価を行うには、標準的環境下ないし改善前環境下におけるオフィス作業生産性指標と、特定環境下、改善後環境下でのオフィスプロダクティビティ指標の比較により評価することができる。なお、オフィス作業効率は個人の能力差があるため、一定数以上の被験者による統計処理が、各人の環境改善前後での比較により行うこととする。

オフィス業務に要する基礎能力の構成を明らかにするために、ここでは Fleishman の Handbook of Human Abilities^[6] に基づいて要素能力を規定した。そのうち「書面理解」「認知速度」などの 21 種の認知的能力をオフィス業務向け要素能力として採用した。さらに実際のオフィスにおいて総務職、技術職、管理職等の各種職種ごとにインタビュー調査とアンケート調査を行い、表 1 に示すように重要度の高い 11 種の能力を抽出するとともに、職種ごとに各要素能力の執務に要する重みを導出した^[8]。オフィスパフォーマンステストはこの各要素能力を評価するものとし、その結果から職種ごとに重み付けを行い総合的にパフォーマンスを評価する。

2.2 11 種のタスクテスト

CPTOP は Web ベースのパフォーマンステストシステムであり、インターネットに接続した PC と Web ブラウザがあれば利用することができる。

CPTOP は前述の表 1 に示す 11 種の人の認知的能

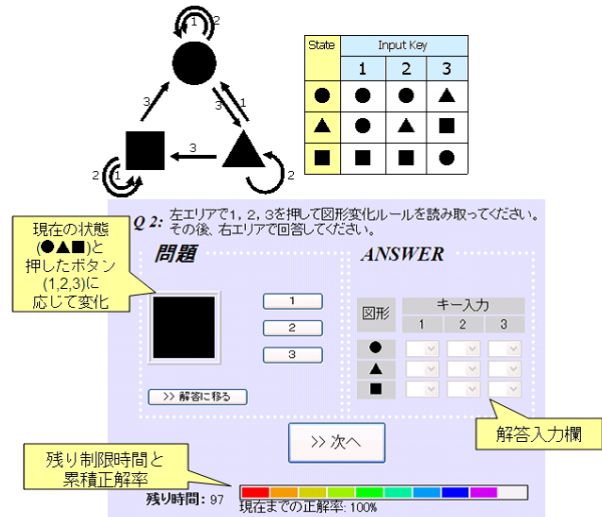


図 1 記憶能力テストの概念図と実行画面
Fig.1 Concept of memory test and its display.

力を評価するために、これらに対応する 11 種のタスクテストから構成されている。ここでは、その一つである「記憶能力テスト」を紹介する。CPTOP では記憶能力として情報のチャンク化と短期記憶の能力を評価するため、吉川らの状態遷移認知試験^[9]を用いる。これは、図 1 に示すような 3 入力（キー入力 1, 2, 3）と 3 状態（●, ▲, ■ の図形）の状態遷移モデルに対する学習課題であり、画面キーを何度も押して図形変化の様子を調べ、状態遷移規則を理解し、暗記したのち回答するものである。一般に人間の短期記憶容量は 7 ± 2 チャンクでその保持時間は 7 秒と言われるため、本課題ではそれに対応して 3 入力 \times 3 状態 = 9 項目の規則とし、さらに状態遷移モデルの設定時に難易度がエントロピーにより客観的・定量的に評価できるようにしていることが特徴である。記憶能力の評価には問題開始から記憶完了に要したスループット時間を用いた。

表 1 CPTOP で評価する人の認知的能力
Table 1 Human cognitive abilities to be evaluated by CPTOP

能力名	能力の説明
1. 口頭理解能力	話された言葉や文を理解する能力
2. 書面理解能力	書かれた言葉や文を理解する能力
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
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
5. 記憶能力	言葉や数字、絵や手順など、情報を覚える能力
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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

表2 パフォーマンステスト内容
Table 2 Contents of performance test

能力名	テスト内容
口頭理解能力	音読した文章を聞き、内容に関する設問に答える
書面理解能力	文章を読み、内容に関する設問に答える
口頭表現能力	絵や写真を制限時間内にできるだけ詳しく口頭で説明する
文章表現能力	絵や写真を制限時間内にできるだけ詳しく文章で説明する
記憶能力	情報のチャンク化と短期記憶(2.2節参照)
数学的推論能力	鶴亀算、植木算などの簡単な文章題
演繹的推理能力	三段論法に基づいた文章の妥当性判断
帰納的推理能力	断片的な結果から隠されたルールを見破る
情報秩序化能力	図書データの並べ替え
認知速度	提示されたパターンと同じものを見つける
時分割能力	認知タスクとタイピングの並行作業

CPTOP はこのような 11 種の課題からなるテストセットとした。ただし、口頭理解能力のテストの様に、同じ内容を繰り返し利用できないテストもあるため、CPTOP では、内容が異なる多くのテストセットを作成した。表 2 に評価する要素能力と設計したテスト内容の概要を示す。

各タスクテストで得られるパフォーマンス結果は時間や正答数等であり、その単位が各タスクテストによって異なる。そこでまず、テスト毎の平均値で得点を割ることで正規化し得点とする。次に、職種ごとの各能力の重要度の違いを反映させるため、各パフォーマンステストの得点にその重みを乗算した値を足し合わせたものをオフィス作業生産性指標とする。

2.3 CPTOP の問題点と改良方針

オフィスの照明条件がオフィス作業の生産性に与える影響を評価する実験^[7]を実施し、その結果を分析したところ、タスクテストの種類により、習熟効果の影響とタスクテストを構成する各問題の難易度にばらつきがあることが示唆された。CPTOP は人の認知的能力がオフィス環境の違いによりどの程度発揮されるかを調べることで、そのオフィス環境が良いか悪いかを評価しようとするものである。そのため、同じ人が同じ環境下で CPTOP を使用した場合、常に同じ評価が得られることが望ましい。しかし、タスクテストに習熟効果の影響や問題による難易度のばらつきがあると、正確に認知的能力を評価することが難しく、これらの影響を取り除くことが望まれる。

習熟効果の影響が見られたのは、タスクテストの問題が自動的に生成され難易度がほぼ均一である「記憶能力」、「帰納的推論能力」、「情報秩序化能力」、「認知速度」、「時分割能力」の 5 つである。本研究では、各テストごとに習熟の効果が誰でも大差ないという仮定のもとにこれらのタスクテストについて被験者実験を実施し、各テストの一般的な習熟曲線を導出して、それをもとにテスト結果に補正をかけることにより習熟の影響を取り除く。

一方、「口頭理解能力」、「書面理解能力」、「口頭表現

能力」、「文章表現能力」、「数学的推論能力」、「演繹的推論能力」の 6 つのタスクテストは、問題を自動的に生成できないため、各テストに予め数多くの問題を作成している。作成時には問題によって難易度に差が出ないように一定の基準を設けていたが、実際には難易度を均一にすることが非常に難しい。本研究では、各問題ごとの難易度が誰にとっても大差ないという仮定のものに、これらのタスクテストについて被験者実験を実施し、各問題ごとの一般的な難易度を評価して、テスト結果に補正をかけることにより難易度のばらつきの影響を取り除く。

以下では、本研究で実施した習熟曲線導出実験および難易度評価実験の詳細について述べる。

3. 習熟曲線導出実験

3.1 実験の目的

本実験では、2.3 節で述べた「記憶能力」、「帰納的推論能力」、「情報秩序化能力」、「認知速度」、「時分割能力」の 5 つのタスクテストについて、それらの習熟傾向を表す習熟曲線を導出することを目的とする。

3.2 実験方法

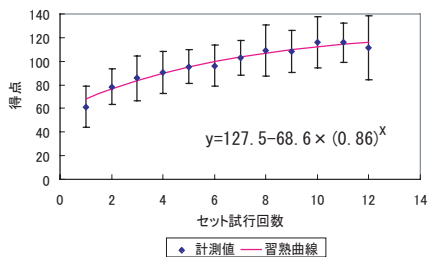
実験は、2005 年 6 月 3~5 日(1 回目)、2005 年 10 月 11~13 日(2 回目)の 2 回に分けて、京都大学医学部構内先端科学研究棟実験室にて実施した。実験室の室温はエアコンによりほぼ 25 になるように調整し、被験者が座る机上面照度は約 1,000lux とした。

実験では、CPTOP のタスクテストのうち、実験目的で述べた 5 つのタスクテストを実施し、その結果を計測した。実験は 1 回目、2 回目とも 3 日間に渡って行い、1 日にあたり 4 セット、計 12 セットを実施した。各テストセット間には十分な休憩をとり、疲労の影響を極力少なくした。また、テストにかかる時間には個人差があるが、早く休憩したいがために真剣にテストに取り組まないことを防ぐため、全員が各テストセットを終了するまで私語、退出を禁止した。

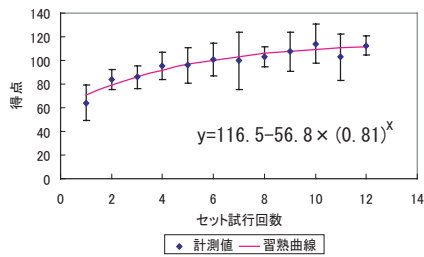
被験者は、パソコン使用歴があり健康である 15 名(男性 6 名、女性 9 名)であり、1 回目の実験には 5 名(被験者 A~E、男性 2 名、女性 3 名、26~35 歳、平均年齢 28.6 歳)が参加し、2 回目の実験には 10 名(被験者 F~O、男性 4 名、女性 6 名、22~45 歳、平均年齢 32.0 歳)が参加した。各被験者にはインフォームド consent として事前に実験内容と趣旨を説明し同意を得た。

3.3 実験の結果

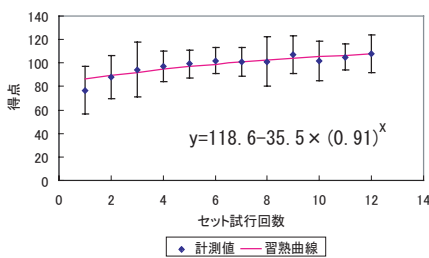
5 つのタスクテストについて、12 のテストセットの結果の平均と標準偏差を図 2 に示す。グラフでは、横軸がテストセットの番号(1~12)、縦軸が各テストセットで被験者が得た評価点の平均値を 印で、標準



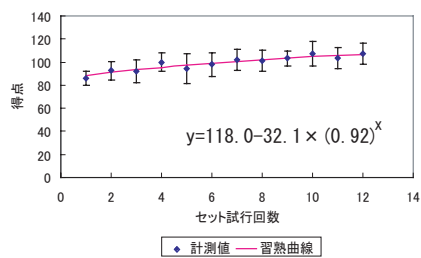
(5) 記憶



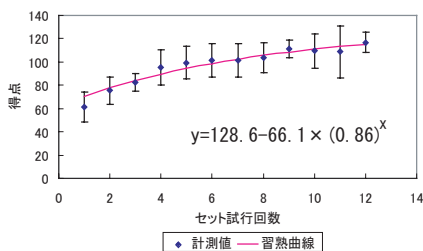
(8) 帰納的推理



(9) 情報秩序化



(10) 認知速度



(11) 時分割

図 2 習熟曲線導出実験の結果

Fig. 2 Result of experiment to obtain learning curve.

偏差をエラーバーで示している。グラフを見ると全体的に右肩上がりで成績が向上しており、試行回数を重ねるごとに習熟しているのがわかる。とりわけ「記憶能力」、「帰納的推論能力」、「時分割能力」の成績向上は大きく、この結果からもタスクテストを繰り返し使用する場合には習熟効果の影響を補正する必要があるのがわかる。

習熟は一般的に右肩上がりで、無限回の試行後にはある一定の成績に落ち着くと考えられることから、以下のような習熟のモデルが考えられる。すなわち、試行回数 n 回目の習熟度を P_n 、初期時点での習熟度を P_1 、習熟による成績向上の限界値を P_{lim} とし、1 回の試行ごとに残りの習熟余地 ($P_{lim} - P_n$) に対して改善率 r ($0 < r < 1$) 倍の習熟度の上昇があるとすると、習熟度は

$$P_n = P_{lim} - (P_{lim} - P_1) \cdot (1 - r)^{n-1} \quad (1)$$

と表すことができる。この式をを単純化すると

$$y = k - ab^x \quad (2)$$

と表される。全被験者のテスト結果の平均を最小二乗法により式 (1) で近似すると、各テストの習熟曲線の定数は表 3 のように求められる。

表 3 習熟曲線の定数

Table 3 Parameters of learning curve

	係数 a	定数項 b	上限値 k
記憶能力	68.6	0.86	127.5
帰納的推論能力	56.8	0.81	116.5
情報秩序化能力	35.5	0.91	118.6
認知速度	32.1	0.92	118.0
時分割能力	66.1	0.86	128.6

3.4 習熟効果の補正方法

上記の実験の結果から、各テストセットで得られた評価点から習熟効果を取り除くための補正方法を提案する。式(2)において、習熟による上限値 k を基準得点と考え、「習熟しきったときの評価点」/「 n 回目のテストセットの評価点」を修正倍率としてテスト結果を補正する。すなわち、 n 回目のテストセットの修正倍率 c_n は、

$$c_n = \frac{k}{k - ab^n} \quad (3)$$

となり、 n 回目のテストセットの評価点を S_n とすると、補正後の評価点 T_n は、

$$T_n = c_n \times S_n \quad (4)$$

で表すことができる。

4. 難易度評価実験

4.1 実験の目的

本実験では、2.3 節で述べたように、タスクテストの各問題の難易度にばらつきが見られたタスクテストについて、それらの各問題の難易度を評価することを目的とする。

4.2 実験方法

実験は、2005 年 6 月 7~14 日(土日を除く 6 日間)に京都大学医学部構内先端科学研究棟実験室にて実施した。実験室の室温はエアコンによりほぼ 25 になるように調整し、被験者が座る机上面照度は約 1,000lux とした。

実験では、CPTOP のタスクテストのうち、2.3 節で述べた 6 つのタスクテストのうち、「口頭表現能力」を除く 5 つのタスクテストを実施し、その結果を計測した。「口頭表現能力」のタスクテストでは、その評価の際に被計測者の口頭での発言記録を文字化し、その結果と各問題の評価基準を照らし合わせて評価する必要があり、今回の実験のように多くの被験者の長期に渡るテスト結果を評価するには多くの時間と労力が必要である。そのため、今回の実験では評価の対象から除いた。

実験は土日を除く 6 日間に渡って行い、1 日にあたり約 20 問、計 110~120 問の問題を実施した。実験の前には各タスクテストにつき、1 セット(5 問)ずつ例題を出題し、問題の解法に慣れてもらった。各テストセット間には十分な休憩をとり、疲労の影響を極力少なくした。習熟曲線導出実験と同様に、全員が各テストセットを終了するまで私語、退出を禁止した。

被験者は、パソコン使用歴があり健康である 4 名(習熟曲線導出実験での被験者 B~E、男性 2 名、女性 2 名、26~35 歳、平均年齢 29.3 歳)が参加した。各被

験者にはインフォームドコンセントとして事前に実験内容と趣旨を説明し同意を得た。

4.3 実験の結果

実験の結果として、5 つのタスクテストの各問題ごとの被験者の得点の平均を図 3 に示す。グラフでは、横軸が問題番号、縦軸が各問題での被験者の得点(評価点)の平均値を示している。このグラフにおいて平均の評価点が高いものは易しい問題(すなわち難易度が低い)、評価点が高いものは難しい問題(すなわち難易度が高い)と考えられる。また、各問題とも被験者全員が 0 点あるいは満点であるような明らかに難易度が不適切な問題はなかった。

4.4 難易度のばらつきの補正方法

上記の 5 つのタスクテストに関しては、「全問題の被験者の平均評価点」/「各問題に対する被験者の平均評価点」をその問題の難易度とし、テスト結果の評価点に難易度をかけることにより難易度のばらつきを補正する。

すなわち、各問題 i の難易度 d_i は、本実験での各問題に対する被験者の平均評価点 T_{ave} と全問題の被験者の平均評価点 T_{all} を用いて、

$$D_i = \frac{T_{all}}{T_{ave}} \quad (5)$$

で表すことができ、さらにテスト結果の評価点を S_i とすると、補正後の評価点 T_i は、

$$T_i = S_i \times d_i \quad (6)$$

で求めることができると考えられる。

5. まとめ

著者らは、オフィス環境の改善による知的生産性の向上を目指して、知的生産性を客観的かつ定量的に評価する方法として、パフォーマンステスト CPTOP を開発してきた。しかし、CPTOP を用いたオフィス環境評価実験の結果から、(1) テストセットの回数が増えるにつれ、評価点が増える習熟効果が見られたこと、(2) 問題により難易度に差が見られること、が示唆された。そこで本研究では、習熟効果と問題による難易度のばらつきの影響を補正するため、習熟曲線導出実験と難易度評価実験を行った。習熟曲線導出実験の結果より「記憶能力」、「帰納的推論能力」、「情報秩序化能力」、「認知速度」、「時分割能力」の 5 つのタスクテストについて、それらの習熟傾向を表す習熟曲線を導出することができ、これによりテスト結果を補正する方法を提案した。また、難易度評価実験により、「口頭理解能力」、「書面理解能力」、「文章表現能力」、「数学的推論能力」、「演繹的推論能力」の 5 つのタスクテストの各問題の難易度を評価し、これによりテスト結

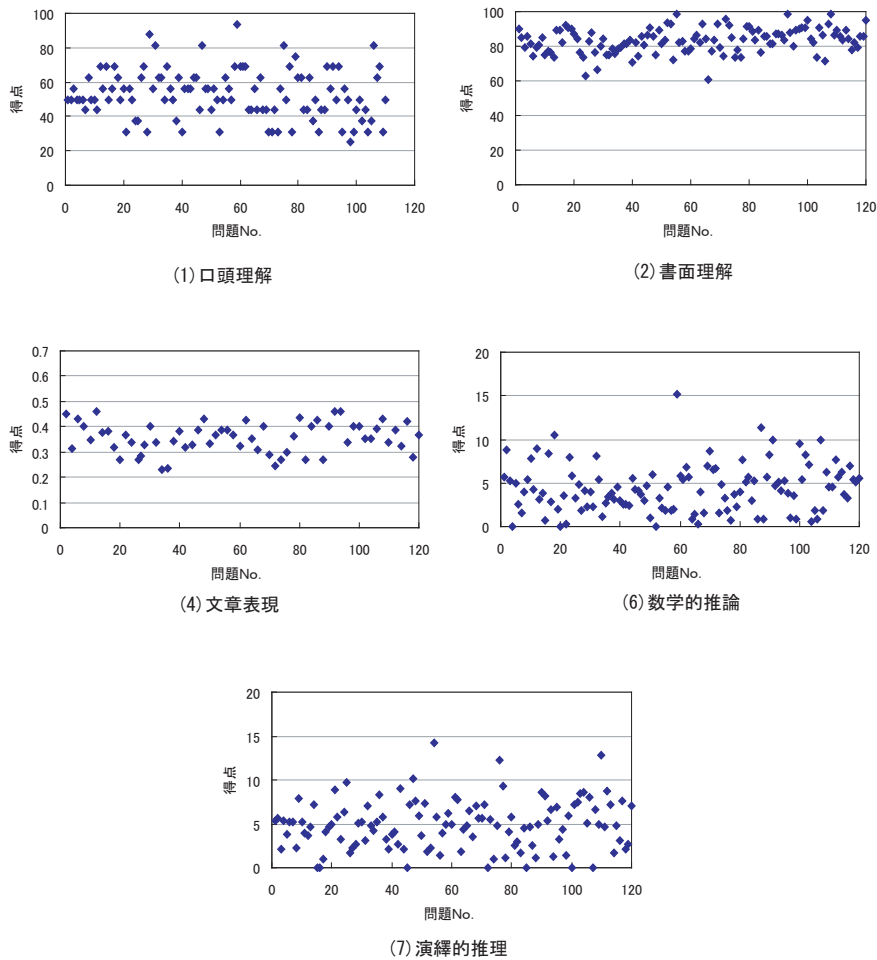


図3 難易度評価実験の結果

Fig. 3 Result of experiment to evaluate difficulties.

果を補正する方法を提案した。しかし、これらの補正方法により実際に習熟効果や問題による難易度のばらつきが補正できるのかどうかを実際に確かめているわけではなく、今後、提案した補正方法の評価実験を実施する必要がある。

参考文献

- [1] Dorgan,C.B., Dorgan,C.E., Kanarek,M.S., Willman,A.J.: Health and Productivity Benefits of Improved Indoor Air Quality, ASHRAE Trans, 98, (1A), pp.658-665 (1998).
- [2] Fisk,W., Rosenfeld,A.: Estimates of Improved Productivity Health from Better Indoor Environments, Indoor Air, Vol.7, pp.158-172 (1997).
- [3] Wyon,D.P., Fisk,W., Rautio,S.: Research needs and approaches pertaining to the indoor climate and productivity, Healthy Buildings 2000 Workshop Summaries, pp.1-8 (2000).
- [4] Brill,M.: Using Office Design to Increase Productivity. Vol.I and II BOSTI., Buffalo, New York (1984).
- [5] 服部, 河内, 大林, 寺野, 福島, 伊藤, 下田, 吉川: オフィスワーカーの生産性評価手法に関する基礎実験研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, pp.447-450 (2005).
- [6] Edwin A. Fleishman, Maureen E. Reilly: Handbook of Human Abilities, Consulting Psychologists Press, pp.1-37 (1992).
- [7] 富田, 服部, 大林, 岩川, 寺野, 下田, 吉川: オフィスワーカーの生産性を改善するための照明制御法の研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, pp.451-454 (2005).
- [8] 伊藤, 下田, 吉川, 大林: 生産性の定量的評価に向けたオフィスワーカーの知的作業分類のための調査; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, pp.441-446 (2005).
- [9] 吉川, 下田, 長井, 小島: マンマシンインタフェー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).