

学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究  
 (その6) 現地実測による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討  
 Study on the Productivity in Classroom

Part6. Field Survey on Effects of Thermal /Air Environment on Productivity

学生会員 ○金子隆昌(慶応義塾大学大学院)      正会員 村上周三(慶応義塾大学)  
 正会員 伊藤一秀(東京工芸大学)      正会員 深尾 仁(大成建設株式会社)  
 Takamasa KANEKO\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>1</sup> Kazuhide ITO\*<sup>2</sup> Hitoshi FUKAO\*<sup>3</sup>  
 \*<sup>1</sup> Keio University \*<sup>2</sup> Tokyo Polytechnic University \*<sup>3</sup> Taisei Corporation

This paper presents on field study on productivity in classroom. Here, we focused our attention on the effects of air change rate and studied the effects of thermal / air environment on productivity in classroom as in the previous paper which dealt with the experiments in laboratory reported as part 5. When air change rate is increased, productivity in classroom is improved significantly by 8.7% on average (p<0.01).

1. はじめに

本報を含む一連の学習効率向上に関する研究<sup>文1~5</sup>は、教室の温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響を検討するものである。また現地の教室と実験室で全く同一の学習効率評価方法(DVDによる映像講義+統一テスト)を用いることにより、プロダクティビティ研究の分野において初めて現地実測と被験者実験の整合性について検討を試みるものである。特に現地実測においては、実験室実験では再現が難しいモチベーションなどの被験者心理を再現することが可能である。また、環境条件が曖昧になりがちな点に関しては実験室実験のデータにより補うことが可能であり、室内環境の質と学習効率の関係に関して多角的に考察することができる。前報(その5)<sup>文5</sup>までは、実験室における被験者実験に関する報告を行った。本報(その6)で報告する現地実測では、実験室実験と同様に異なる換気量に着目し、温熱・空気環境要素が学習効率に及ぼす影響を検討する。また、学習効率の客観評価と主観評価の整合性についても検討を行う。

2. 学習効率に関する現地実測の概要(図1)

前報(その5)<sup>文5</sup>までで述べてきた実験室実験と全く同様の学習効率評価方法並びに環境条件にて、温熱・空気環境要素が学習効率に及ぼす影響を検討する<sup>注1</sup>。また、学習効率の客観評価と主観評価の整合性を検討する。現地実測中の教室の様子を図1に示す。

2.1 現地実測期間・場所(図2、表1)

学習効率を測定する現地実測は2005年1月~4月にかけてN学院<sup>注2</sup>にて行った。実測対象教室を図2、表1に示す。空調システムとしては、新鮮外気をフロアの外気取入口から取入れ、各教室はドアのアンダーカットから取入れる。主な排気は換気扇により行う。天井には温度制御のみの定風量式空調機が2台設置されている。



図1. 学習効率に関する現地実測の様子

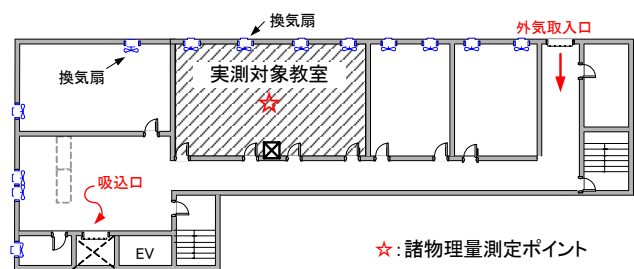


図2. 現地実測対象空間並びに測定ポイント

表1. 対象教室概要

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| 面積 (縦×横)[m]          | 141.7m <sup>2</sup><br>(10.7×13.3) |
| 天井高さ                 | 2.4m                               |
| 開口部:開きドア(アンダーカット)[m] | 0.2×0.6 (4ヶ所)                      |
| 換気扇                  | 0.4×0.4 (4ヶ所)                      |

表2. 現地実測の条件

| 実測日     | 換気量       | 講義科目 |     | 被験者数  |
|---------|-----------|------|-----|-------|
| 3/20(日) | 大(3.5回/h) | 論理系  | 構造① | 41(人) |
| 3/27(日) | 小(0.4回/h) | 科目   | 構造② | 41(人) |
| 4/3(日)  | 小(0.4回/h) | 暗記系  | 計画① | 50(人) |
| 4/10(日) | 大(3.5回/h) | 科目   | 施工① | 50(人) |

## 2.2 現地実測の条件(表 2)

異なる換気量を現地実測の条件とした(表 2)。換気量小は換気扇を常時OFF、換気量大は換気扇を常時ONとした。論理系科目(構造分野)、暗記系科目(計画、施工分野)の 2 つに大別した科目を設定した<sup>注3)</sup>。それぞれの科目において換気量大・小条件における学習効率を比較・検討する。被験者の概リズムに配慮し同一の曜日・時間帯に行った。

## 2.3 被験者

被験者は N 学院の一級建築士講座の受講生である。被験者数は 70 人程度<sup>注4)</sup>であり、20 代~40 代の社会人である。

## 2.4 測定項目(表 3)

### 2.4.1 学習効率の評価

(1) **客観的な学習効率の評価** 講義の理解度を問う統一テストの点数により客観的な学習効率を評価した。講義内容は一級建築士試験対策で、統一テストは五者択一形式で全 20 問である。異なる講義内容に関するテストの点数を比較するため、昨年度の N 学院実施平均点データを基に点数の補正を行い<sup>注5)</sup>、全テストの難易度を統一した。

(2) **主観的な学習効率の評価** 学習効率に関する申告票を用いた<sup>注6)</sup>。申告票の項目は、①教室環境の授業理解度への影響(5 スケール)、②室内環境の要因によってロスした時間(分)、③授業理解の妨げとなっている要因(1.温熱環境 2.空気環境 3.光環境 4.音環境 5.空間環境 6.人間関係 7.授業内容 8.モチベーションから上位3つを選択)、④上記環境要因(= ③ 1~5.)の改善による授業理解度の向上率(%)等を回答させた。主観評価においても②や④のように定量的評価を試みる項目を設けている。

### 2.4.2 物理環境の測定(表 3)

(1) **空気環境要素の測定** 現地実測中 CO<sub>2</sub> 濃度、粉じん濃度を測定した。また生徒不在時に換気回数<sup>注7)</sup>、化学物質濃度(揮発性有機化合物(VOC)とカルボニル系化合物)、真菌濃度(空中浮遊真菌・空中落下菌)の測定を行った<sup>注8)</sup>。

(2) **温熱環境要素の測定** 現地実測中に空気温度、風速、相対湿度、放射温度を連続測定した。その他、音・光環境も測定している<sup>文1)</sup>。

## 2.5 現地実測手順

現地実測は講義開始の午前 9:00 から開始した。180 分間の講義後(12:00)、30 分のテストを行い、その後申告表の記入を行った。180 分の講義中、5 分程度の休憩が 3 回設定されている。

## 2.6 統計解析方法

テスト結果の環境条件間比較には、危険率を 5%として定め、対応のある t 検定を行った。申告票結果の環境条件間比較には、対応のある順位尺度の検定として Wilcoxon の符号付順位和検定を用いた。

## 3. 学習効率に関する現地実測結果

### 3.1 物理環境測定結果

(1) **空気環境要素(表 4、図 3)** 表 4 に物理環境測定結果

表 3. 物理環境測定項目

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| (1)空気環境要素 | 換気回数、粉塵濃度、CO <sub>2</sub> 濃度、真菌濃度 |
| (2)温熱環境要素 | 空気温度、放射温度、相対湿度、風速                 |
| (3)光環境要素  | 机上面照度                             |
| (4)音環境要素  | 等価騒音レベル                           |

表 4. 物理環境測定結果(地上から 0.6m 地点)

| 測定項目                         | 換気量大<br>(3/20) | 換気量小<br>(3/27) | 換気量小<br>(4/3) | 換気量大<br>(4/10) |
|------------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| 空気温度[°C]                     | 24.2±0.4       | 27.1±0.6       | 27.3±1.0      | 25.2±0.6       |
| 放射温度[°C]                     | 24.5±0.4       | 27.0±0.7       | 27.2±0.8      | 25.5±0.4       |
| 相対湿度[%]                      | 22±1           | 35±5           | 44±3          | 43±1           |
| 風速[m/s]                      | 0.04±0.04      | 0.07±0.07      | 0.03±0.02     | 0.04±0.04      |
| 粉塵濃度<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | 0.014          | 0.015          | 0.013         | 0.014          |

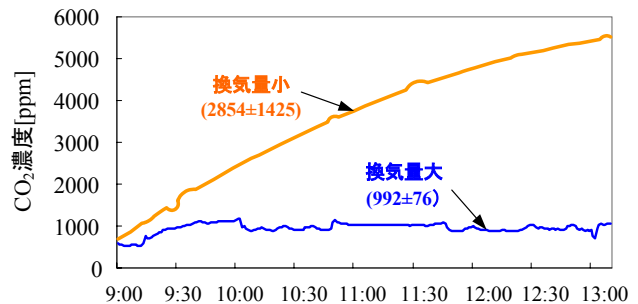


図 3. CO<sub>2</sub>濃度の時間変化

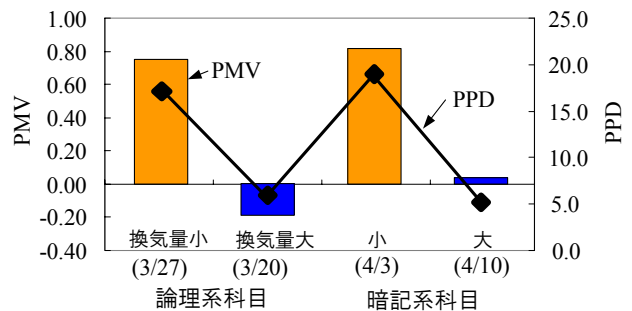


図 4. PMV 並びに PPD 算出結果

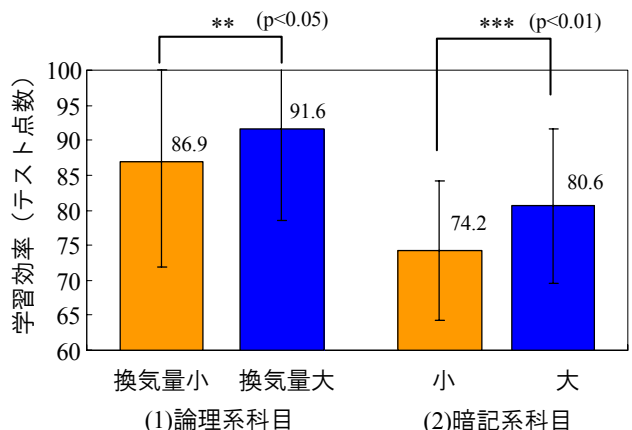


図 5. 客観的な学習効率(テスト)結果

を示す。換気量の大小により粉塵濃度は変化しなかった<sup>注1)</sup>。図3にCO<sub>2</sub>濃度の時間変化の代表として3/20・27のデータを示す。換気量大では1000ppm弱で一定となった。換気量小では人体起因のCO<sub>2</sub>発生により徐々に上昇し、最大で5000ppmを超えた。受講生不在時に行った化学物質の室内空気濃度測定結果は、ホルムアルデヒド10.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒド12.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ など厚生労働省の室内濃度指針値を超えることはなかった。空中浮遊真菌、空中落下菌はそれぞれ10.0[cfu/m<sup>3</sup>]、1.6[cfu/100cm<sup>2</sup>]であり、真菌は殆ど観察されなかった。

(2) 温熱環境要素(図4) 図4にPMV<sup>注9)</sup>並びにPPD算出結果を示す。換気量小ではPMVが0.8程度、PPDが17%程度となった。また換気量大の条件ではPMVが-0.1程度、PPDが5%程度となった。換気量大・小で温熱環境が異なる結果となった。

(3) その他 机上面照度は817lx、等価騒音レベルは46.9dBであった。

### 3.2 学習効率評価結果

(1) 客観的な学習効率の結果(図5) 図5に客観的な学習効率(統一テスト)の結果を示す。論理系科目(構造分野)では、換気量小から換気量大に環境条件を変化したことにより有意に4.7点向上した(p<0.05)。換気量小の条件の点数を基準として学習効率の向上率を百分率換算すると5.4%向上となる。また、暗記系科目(計画並びに施工分野)では、換気量小から換気量大に改善することにより有意に6.4点向上した(p<0.01)。換気量小の条件を基準として学習効率の向上率を百分率換算すると8.7%の向上となる。

#### (2) 主観的な学習効率の結果

①講義有効時間(図6) 図6に講義有効時間結果を示す。講義有効時間とは、「講義時間(180分)」-「ロスした時間(申告票)」により算出した。論理系科目では換気量小から換気量大に環境条件を変化したことにより、講義有効時間が有意に6.8分増加した(p<0.01)。換気量小の条件の講義有効時間を基準として学習効率(時間換算)の向上率を百分率換算すると4.0%向上となる。暗記系科目では換気量小から換気量大に環境条件を変化したことにより、講義有効時間が有意に3.8分増加した(p<0.05)。換気量小の条件を基準として学習効率(時間換算)の向上率を百分率換算すると2.2%向上した。

②環境改善による学習効率の予想向上率(図7) 図7に申告に基づく環境改善による学習効率予想向上率を示す。論理系科目では換気量小から換気量大に環境条件を変化したことにより、予想向上率が有意に4.6%低下した(p<0.05)。すなわち環境改善により学習効率が4.6%向上した(p<0.05)と判断される。暗記系科目では換気量小から換気量大に環境条件を変化したことにより、予想向上率が有意に5.3%低下した(p<0.05)。すなわち学習効率が5.3%向上した(p<0.05)。

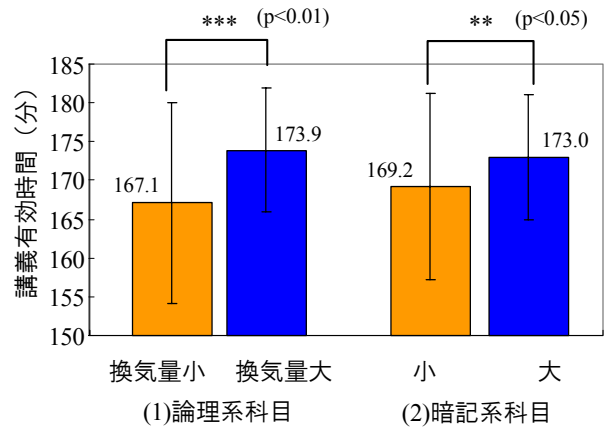


図6. 講義有効時間結果

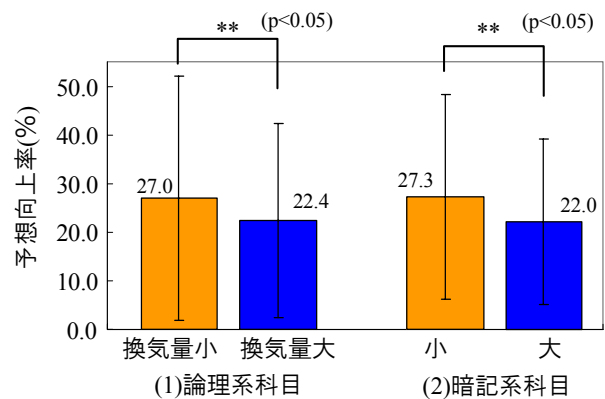


図7. 申告に基づく学習効率予想向上率結果

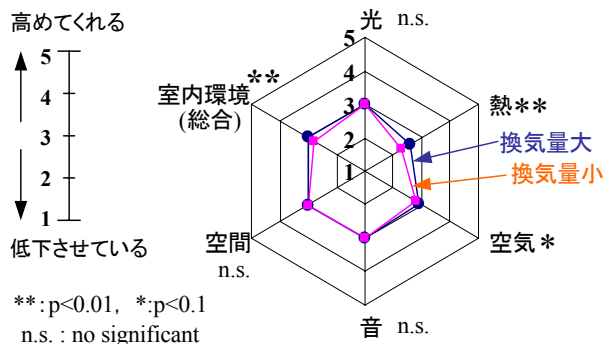


図8. 各環境要因が学習効率へ及ぼす影響(論理系科目)

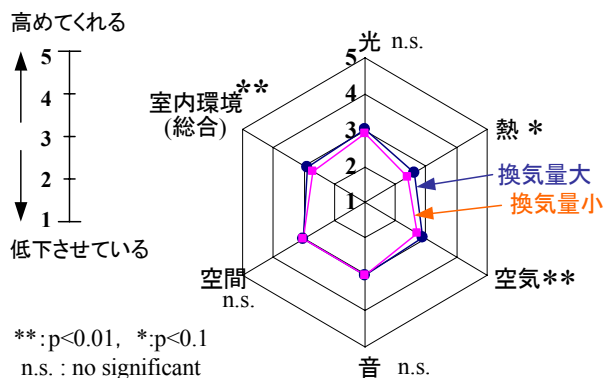


図9. 各環境要因が学習効率へ及ぼす影響(暗記系科目)

③各環境要因が学習効率へ及ぼす影響(図 8.9) 図 8、9 に論理系科目、暗記系科目について各環境要因が学習効率へ及ぼす影響に関する主観申告結果を示す。論理系科目では、換気量小から換気量大に環境条件を変化したことで熱、空気、室内環境(総合)がそれぞれ有意に改善した(各々 $p<0.05$ 、 $p<0.1$ 、 $p<0.05$ )。また暗記系科目では、換気量の環境条件を変化したことで熱、空気、室内環境(総合)がそれぞれ有意に改善した(各々 $p<0.1$ 、 $p<0.05$ 、 $p<0.05$ )。

(3) 学習効率の客観評価と主観評価の整合性の検討(表 5) 論理系科目、暗記系科目それぞれについて、客観評価、主観評価における学習効率の向上率(%)を表 5 に示す。論理系科目において誤差が 1%未満の非常に良い対応関係が得られた。暗記系科目では客観評価(8.7%)と主観評価の予想向上率(5.3%)は概ね対応したが、講義有効時間(2.2%)がかなり低めの申告となった。主観評価の講義有効時間と予想向上率では、講義有効時間のほうが低めの申告となった。今回の検討では客観評価と主観評価では主観評価が過小評価する傾向となった<sup>注10)</sup>。

#### 4. 現地実測と実験室実験の整合性の検討

本報と同様の調査に関する実験室実験については既報<sup>文4)</sup>で報告した。温熱・空気環境条件の変化により暗記系科目の客観評価(統一テスト)向上率は、現地実測で 8.7%( $p<0.01$ )、実験室実験で 5.2%(n.s.)となり実験室実験での評価がやや低めの向上率となったが、概ね良い対応が確認されたと判断できる<sup>注11)</sup>。

#### 5. まとめ

- ① 換気量小から換気量大に環境条件を変化したことで客観的な学習効率が論理系科目で有意に 4.7 点(5.4%)向上し( $p<0.05$ )、暗記系科目で、有意に 6.4 点(8.7%)向上した( $p<0.01$ )。
- ② 換気量小から換気量大に環境条件を変化したことで主観的な学習効率が有意に向上した。(1)講義有効時間は論理系科目で 6.8 分(4.0%)向上し( $p<0.01$ )、暗記系科目では 3.8 分(2.2%)向上した( $p<0.05$ )。(2)申告に基づく予想向上率は論理系科目で 4.6%向上し( $p<0.01$ )、暗記系科目では 5.3%向上した( $p<0.05$ )。
- ③ 学習効率の客観評価と主観評価はよく対応する関係にあるが、主観評価がやや過小評価する傾向にあった。差異は概ね 1~3%となった。
- ④ 本実測では、換気回数を変化させたが問題に温熱環境も変化している。どちらの影響が卓越しているかについて、実験室実験も含め今後検討する。また現地実測において成績別の検討などより詳細な分析を行い、現地実測と実験室実験の整合性をさらに検討する。

**【謝辞】** 本研究を遂行するにあたり日建学院の西生一次氏、井澤真悟氏、東京工業大学の仙田満教授に多大なご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。また、実測にご協力いただいた大成建設株の森川泰成氏、樋渡潔氏、慶応大学の亀田健

表 5. 客観評価と主観評価の対応関係(向上率%)

|      |        | 論理系科目 | 暗記系科目 |
|------|--------|-------|-------|
| 客観評価 | テスト点数  | 5.4%  | 8.7%  |
|      | 講義有効時間 | 4.0%  | 2.2%  |
| 主観評価 | 予想向上率  | 4.6%  | 5.3%  |

一氏、島崎祐輔氏、東急建設株の原祥子氏(当時慶大)にお礼申し上げます。被験者としてご協力下さった方々に感謝致します。

**【注】注 1)** 実測対象とした空調システムは定風量吹出方式のため、換気量(外気導入量)の変化により温熱環境も変化する(表 4)。

**注 2)** 日建学院

**注 3)** 実験室実験では暗記系の科目のみを対象とした。また、現地実測ならびに実験室実験において法規は測定対象外とした。

**注 4)** 学習効率に大きな影響を及ぼすと考えられる①体調(%), ②既習率(%), ③講義に対する興味度(5 スケール)に関して申告票データよりスクリーニングを行い、信頼性の高い被験者データのみを採用した。また、スクリーニングの過程で理論系科目、暗記系科目それぞれにおいて環境間で対にならなくなった被験者のデータも破棄した。

**注 5)** N 学院の昨年度の平均点データは母集団が極めて多い(約 10,000 人)ためテストの難易度を代表するものとみなした。全授業の難易度を統一するために、N 学院の昨年度のテスト平均点データを用いて比例補正を行った。

**注 6)** 質問項目は空気調和・衛生工学会建築設備システムの性能評価方法の標準化調査研究委員会プロダクティビティ小委員会が検討しているものに準ずる<sup>文6)</sup>。

**注 7)** SHASE S-116<sup>文7)</sup> に定められたステップダウン法に従い、トレーサーガスとして SF<sub>6</sub> を用い、濃度測定にマルチガスモニターを用いた。測定中は空調を設定温度 25℃で運転した。

**注 8)** 空中落下菌の測定は PDA 培地を設置した直径 90mm の滅菌シャーレを室中央部の床面位置に設置し、サンプリングを行った。また空中浮遊真菌の測定は MBS-1000(ミドリ安全社製)を用いて、浮遊真菌のアクティブサンプリングを行った。両者はサンプリング後、インキュベータ内で培養し、7 日目の PDA 培地表面での真菌発育状況を観察した。

**注 9)** PMV は代謝量 1.0met、着衣量は毎回教室内で一般的な着衣量と思われる人の着衣を記録し、それに基づき算出した。

**注 10)** 詳細な考察は今後報告する。

**注 11)** 現地実測では注 4 に示すように信頼性の高いデータのみを用いたが、実験室実験では十分な人数がいなかったため、このような操作を行っていない。そのため有意差が確認できなかったと考えられる。詳細については今後検討する。

**【参考文献】(文 1~5)** 金子ら、学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究(その 1) 室内環境の質と学習効率の関係に関する予備的実測、建築学会関東支部研究報告集、pp533-536、2005 (その 2) 原ら、温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響に関する被験者実験、建築学会関東支部研究報告集、pp537-540、2005 (その 3) 原ら、被験者実験による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討、建築学会関東支部研究報告集、pp541-544、2005 (その 4) 金子ら、教室における温熱・空気環境が学習効率に及ぼす影響の被験者実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2005.9(投稿中) (その 5) 原ら、被験者実験による教室における学習効率に関する主観-客観評価の詳細分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2005.9(投稿中)

(文 6) 寺野ら、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 6 報) 標準的な主観評価票に関する提案、空気調和・衛生工学会学術講演大会論文集、pp637-640、2004

(文 7) 空気調和・衛生工学会規格-SHEASE-S 116-2003 トレーサーガスを用いた単一空間の換気量測定方法、2004.4