

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：33910  
 研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22360245  
 研究課題名（和文） 真の省エネルギー実現のための合理的な空調設備設計および運用に関する研究  
 研究課題名（英文） Study on Rational Design and Operation of Air-Conditioning Systems for True Energy Saving  
 研究代表者  
 猪岡 達夫（INOOKA TATSUO）  
 中部大学・工学部・教授  
 研究者番号：20367668

研究成果の概要（和文）：本研究では、真の省エネルギーを実現することを目的に、以下の研究を行った。1）過剰設計を抑えるための熱負荷計算法の研究、2）中小規模の建物を対象とした省エネルギー改善の検証、3）建物的な省エネルギーとして、窓の外部日除けの研究と照明による省エネルギーの研究

研究成果の概要（英文）：In this paper, to realize true energy saving, some studies were accomplished; such as 1) study on cooling/heating load calculation to restrain over specification, 2) validation of energy saving improvement at existing buildings, 3) study on sun shade performance of window and energy saving method of illumination.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2012年度	1,800,000	540,000	2,340,000
総計	6,800,000	2,040,000	8,840,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：建築設備計画

### 1. 研究開始当初の背景

研究の初年度の平成22年度（2010年）は京都議定書の約束期間（2008～2012年）の中間年に当たっており、如何にして温室効果ガス排出量を削減するかが大きなテーマであった。

京都議定書の目標値に対して、2010年時点で、日本の温室効果ガス排出量は6%削減するどころか、逆に6%増えており、目標達成は極めて厳しい状況にあった。中でも建設分野は日本の温室効果ガス排出量の約1/3を占めており、また、1990年比で30%を超える増加を示していた。温室効果ガス排出量の大半はエネルギー起源であるが故に、温室効果ガス削減の最も重要な対策は省エネルギーであることに疑いの余地はない。

今現在、地球温暖化はその科学的根拠の曖昧さが問題になっているが、温室効果ガス排出量削減の側面だけでなく、将来のエネルギー問題等々を考えれば、省エネルギー化を推進することの重要性は変わらないどころか、3.11の原発事故以後の我が国の電力事情を鑑み、重要性はより高まったと言える。

以上の背景の下、本研究は建築設備の中でも空調設備に着目した省エネルギーの研究を行うこととした。

なお、本研究では建物を大規模ではなく、中小規模をターゲットにした。これは、中小建物では経済的・技術的に可能な省エネルギー手法の制約が大きいからである。日本の建物のストックの面積で約半分を占める中小建物で省エネルギーができなければ真の省

エネルギーは実現できない、と考えたからである。逆に、中小規模であるからこそ可能な省エネルギーもあるはずで、この道筋を示すことも重要であると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、真の省エネルギーを実現するために、次の3つのサブテーマを取り上げた。

### 1) 過剰設計を抑える熱負荷計算法

空調設備では、万が一冷暖房が効かない場合に備えて機器容量に余裕を持たせる。この余裕が過剰で、必要以上に大きな機器容量を選ぶという傾向が強い。実際の建物では年間の運転時間の半分が負荷率 20%以下の低負荷運転であり、過剰な機器容量が運転効率の低下を招くことになる。

本研究では、過剰な機器容量の元になっているピーク熱負荷計算に着目し、リスクを伴わずに過剰設計を抑える熱負荷計算法を提示する。

### 2) 中小規模建物での省エネルギーの実証

既存の中規模建物を研究対象に、主として運用面での問題点を洗い出し、改善し、改善後の効果を検証する。なお、既存の建物で実際に生じている問題が対象となるが、これは先進的研究とは対極にある地味な問題である。しかし、このような問題を1つ1つ解決することが真の省エネルギーに繋がると考えた。

### 3) 建築的な省エネルギーの研究

省エネルギーの基本は、その元である建物の熱負荷を軽減するが重要であり、このために、本研究では次の2つに着目した。

①窓ガラスの日射遮蔽の研究：窓からの日射熱が建物の冷房負荷の約 1/3 を占める故に、窓の日射遮蔽は省エネルギーを考える上での基本中の基本である。本研究では、内ブラインド、外ブラインド、散水付き外ブラインド、遮光シートなどによる日射遮蔽性能の比較実験を行う。また、外部日除けが優れていることは分かっているがなかなか採用されないのは雨風の対策が難しいからであるが、中小規模の建物だからこそ可能なのが外部日除けである。

②照明による省エネルギー：3.11 以後、照明を間引いたり照度を下げて節電対策としている例が多い。また、照度を下げても問題がないという報告もある。ここでは、照明設計の基本である机上面照度だけでなく、輝度分布に着目して、視環境を損なわずに、照明電力を低減する方法を研究した。

## 3. 研究の方法

### 1) 過剰設計を抑える熱負荷計算法

現行の計算法（ピーク負荷計算、周期定常ピーク熱負荷計算）と、本研究が提案する年間ピーク負荷によるピーク負荷を様々なケ

ースで比較分析した。

2) 中小規模建物での省エネルギーの実証  
既存の建物で現地調査し、問題点を洗い出し、コンピュータシミュレーションによって改善効果を予測し、運用改善後に実測して効果を検証した。

### 3) 建築的な省エネルギーの研究

①窓における日射遮蔽では、内ブラインド、外ブラインドおよび散水付き外ブラインドをゼミ室の窓に取り付け、実測により日射遮蔽性能を比較分析した。②照明電力の削減では、教室の照明器具にトレッシングペーパーを重ねることで様々な照度を作り、実際に作業を行い、明るさ感や作業性についてアンケート調査を行った。これらの結果と照度および輝度分布との関係を分析した。

## 4. 研究成果

### 4.1 過剰設計を抑える熱負荷計算法

気象データと熱負荷計算の組み合わせとして次の3つを取り上げた。

①従来の TAC 気象データ×手計算（東京・超過確率 2.5%）

②設計用拡張アメダス（EA）気象データ×周期定常計算：なお、気象データは冷房で h-t、Jc-t、Js-t の3種類、暖房で t-Jh、t-x の2種がある。また超過確率は 0.5%である。

③標準年気象データ×年間ピーク計算：年間ピーク計算とは、NewHASP の予熱時間を指定したピーク計算モードのことである。

建物モデルに建築学会の標準問題の基準階を選び、①②③の気象データ×計算方法の組み合わせの他に、曜日スケジュール、予熱時間などをパラメータとしてケーススタディを行った。なお、ここでいう負荷とは、室＋外気負荷である。

1) 気象データ×計算法によるピーク熱負荷の比較：

図 1-1 にピーク冷房負荷（③の場合は 8 日 10 日）の比較を示す。なお、②と③の場合の予熱時間は 2 時間とした。②の Js-t が秋の冷房負荷用の気象データであるので、これを除けば①②③のピーク冷房負荷は大きく変わらない。

図 1-2（冷房）と図 1-3（暖房）は、③年間熱負荷の分布と、①②のピーク熱負荷との比較を示す。

①手計算によるピーク熱負荷が突出している。気象データの超過確率は 2.5%と緩やかであるが、気温・湿度・日射の同時性が考慮されていないのでピーク熱負荷は過大となり、これで設計すると過剰な機器容量とならざるを得ない。

②設計用 EA 気象データでは、気温・湿度・日射の同時性が考慮されているため、合理的なピーク熱負荷となっているが、5 通りの気象データで計算することでの煩雑さがある。

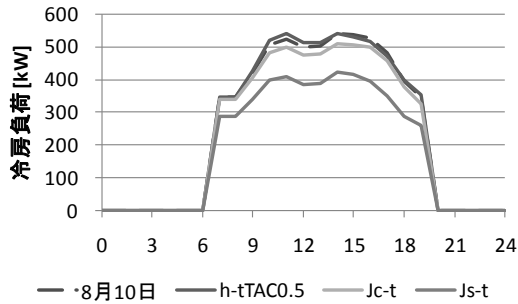


図 1-1 ピーク冷房負荷の比較

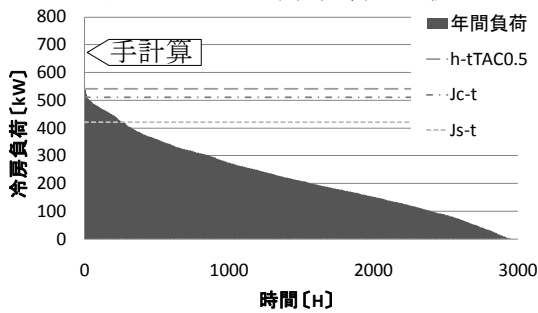


図 1-2 年間冷房負荷との比較

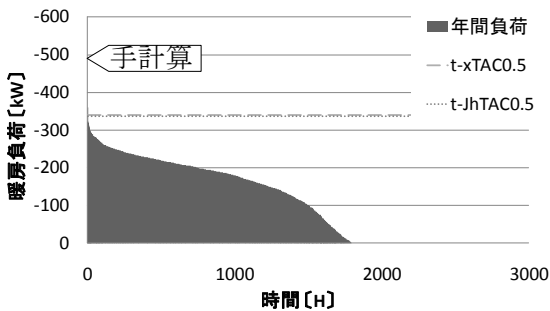


図 1-3 年間冷房負荷との比較

③年間気象データで年間計算してピーク熱負荷を求めるのが最も合理的と考える。年間計算なので処理は1回で良く、一方で計算量は多くなるが、これはコンピュータで処理するので、全く問題はない。

#### 2) 曜日スケジュールによる熱負荷の比較

①手計算と②周期定常計算では曜日の概念はないが、③年間ピーク計算で大きな熱負荷が発生するのは連休明けとか設定温湿度が変わる季節の変わり目である。図 1-4 は年末年始の暖房負荷であるが、曜日スケジュールなしの熱負荷（破線）に比べ、休み明けの熱負荷は約2倍になっている。空調設計をこのような突出した負荷で行えば過大な容量となる。なお、図 1-5 に示すように予熱時間を長くすれば突出した負荷を抑えることができる。

<結論>年間ピーク熱負荷計算が合理的である。自動制御に予熱制御を取り入れることを前提に、これに合わせて熱負荷計算をすれば、リスクを伴わず、過大な機器容量を回避でき運転の効率化による省エネルギーが可能となる。しかも、経済的となる。

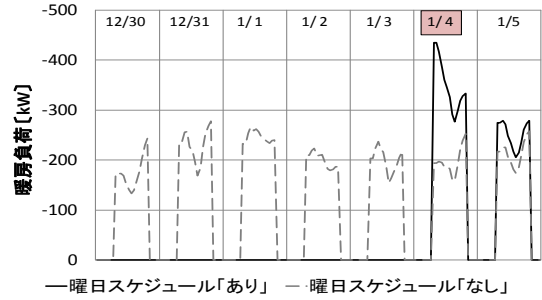


図 1-4 曜日スケジュールによる負荷の比較

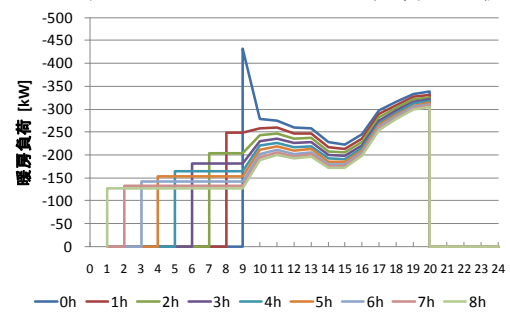


図 1-5 予熱時間数と熱負荷の関係

## 4.2 中小規模建物での省エネルギーの実証研究

実在する2つの中規模営業所建物（A：静岡県、B：三重県）を調査し、①省エネルギー上の問題点の洗い出して省エネルギーメニューを選定し、②改善後の検証を行った。

### 1) 在室人員密度と取入外気量の適正化

Aビルでは当初の計画よりも在館人数が約半数に少なくなっていた。一方、取入外気量が竣工当初のままであり、CO<sub>2</sub>濃度の実測結果からも外気量には余裕があると推察された。（図 2-1）

取入外気量をダンパーで制御することは精度の点で難しい。そこで、全熱交換器で使っていたタイマー制御を外気導入に流用することで外気量を時間的に4割カットするように調整した。

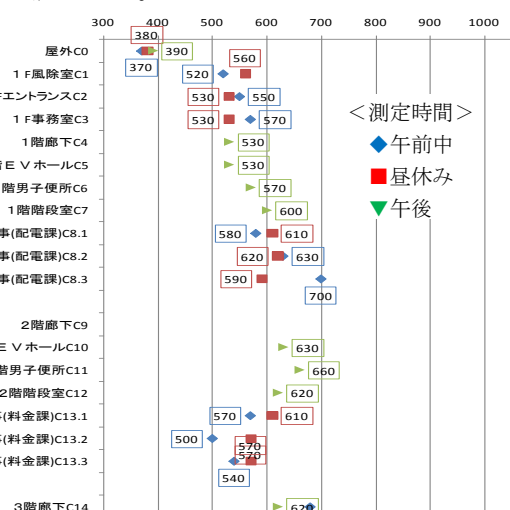


図 2-1 室内 CO<sub>2</sub> 濃度 (Aビル)

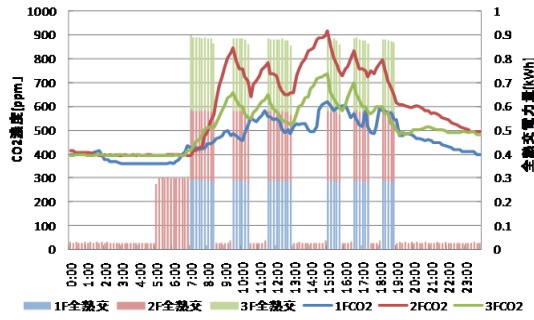


図 2-2 外気タイマー制御後の CO2 濃度

この結果、図 2-2 に示すように外気が間欠的に導入されることで、室内 CO2 濃度は上下するものの上限を 1000ppm 以下に抑えることができた。また、外気負荷の軽減で省エネルギーとなった。

## 2) 室温設定変更の改善

A ビル、B ビルともマルチ空調方式であり、室温のリセット制御があるものの、在室者が変更することが可能であるため、夏期の冷房時に外勤者が戻ったあと室温を下げそのままの状態となっていることがしばしばあった。そこで室温のリセット回数を 1 日 3 回から 7 回に増やすことで室温が 26°C に近づき、屋外機の消費電力も減少することが確認できた。

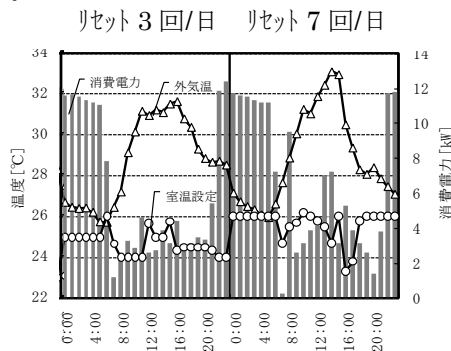


図 2-3 リセット回数による改善

## <結論>

上記の他に、①マルチ空調機の一斉強制停止制御による消し忘れ防止、②冬期のリセット制御などを実施した。どれも基本的で多くの建物でもありがちな問題であるが、特に大きなコストをかけることなく、かつ省エネルギー効果の大きい問題の解決を実証できた。

## 4.3 建築的な省エネルギーの研究

### 4.3.1 窓ガラスの日射遮蔽の研究

本研究では、下記および図 3-1 に示す日射遮蔽装置について、実測により、その日射遮蔽性能の比較を行った。

①普通の窓： 比較のための基準の窓

①内ブラインド： 窓の右半分には既設のブラインドがある。

②外ブラインド： 窓の左半分に自作のベニア合板製の外ブラインドを設置する。

③散水外ブラインド： 外ブラインドを 2 つに分け、左側のブラインドのフィンに保水用の布の貼り散水した。散水は 8~18 時の間 15 分ごとに 10 秒とした。10 秒で 650ml である。単位面積当たり 48ml/(m<sup>2</sup>・s) であり、強い日射量とほぼ同等の蒸発熱に相当する。

④遮光ネット (銀)： ホームセンターで市販されている遮光率 70% のネット

⑤遮光ネット (黒)： 農業用の遮光率 85% のネットを二枚重ねた。

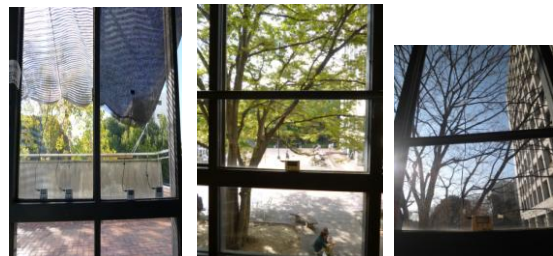
⑥木陰の窓： 大きな樺の陰の窓

①②③はゼミ室の窓であり、真西に向いている。ブラインドのスラットと角は全て 45° にした。ここで、外気温度と湿度、室温、ブラインドおよびガラス表面温度、水平面および西垂直面の全日射量を測定した。

④⑤⑥は廊下であり、真西に向いている。ここで、ガラス表面温度、廊下の室温を測定した。日射については垂直面の全日射量を外部、遮光ネットの裏、ガラスを透過した室内で測定した。



散水外ブラインド・外ブラインド・内ブラインド



遮光シート (白)、同 (黒)、木陰 (夏)、木陰 (秋)  
図 3-1 実測した日射遮蔽装置

実測結果から、日射熱取得率を求めた。結果を図 3-2 に示す。これによると、

①内ブラインド、④遮光ネット (銀)： これらはほぼ同等で日射熱取得率が 0.41~0.46 で普通のガラスの約 1/2 になっている。

⑤遮光ネット (黒)： 二枚重ねた日射熱取得率は 0.32 であった。遮光ネット (黒) は光は遮るが、熱は 30% 近くが透過する。それでも内ブラインドよりは日射をよく遮る。

②外ブラインド：日射熱取得率は 0.17 と優れる。外ブラインドで受けた日射熱は風によってほとんどが持ち去られ、ガラスの表面温度はそれほど上がらない。

③散水外ブラインド： 散水の蒸散効果で

ガラス表面温度が下がり、貫流成分がゼロ近くまで小さくなり、日射の透過成分(約0.11)と相殺し、日射熱取得がほぼ0となった。

⑥木陰の窓：自然の樹木であるが、その性能を温度と日射量から推定した。大きな樺の陰は、木が持つ蒸散作用もあり最も涼しかった。推定の日射熱取得率は0.11であり、今回の実測の中では③の散水ブラインドに次いで良かった。なお、秋には落葉するので、この時の日射熱取得率は0.41と推定した。

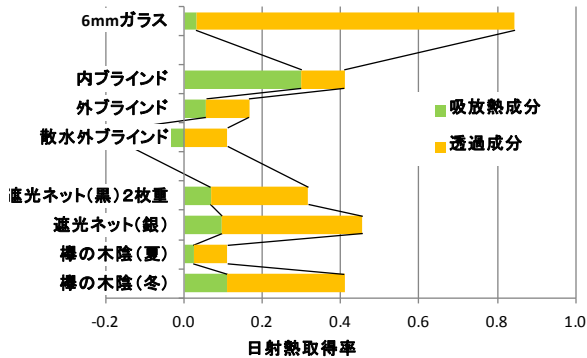


図 3-2 日射遮蔽物の日射熱取得率の結果

<結論>外部で日射を遮蔽することが非常に効果的であることが分かった。なお、本研究の前には市販のブラインドで実験していたが、アルミのC型チャンネルで外枠を作り、内張して衝撃と音を防止し、ここにブラインドを取り付ければ少々の台風でも問題なかった。

#### 4.3.2 照明による省エネルギー

3.11 以後、建築学会は現行 JIS の照度基準(事務所で 750lx)を1段階あるいは2段階落とした旧基準の 500~300lx まで下げるよう要請した。ここでは、視環境を損なわずに照明電力を軽減する方法として、机上面照度だけでなく、輝度も考えた照明による省エネルギーの研究を行った。

具体的には、大学の講義室で照度を色々変えて授業を行い、授業後のアンケート結果と、照度および輝度測定との関連を分析した。なお、講義室の照明には調光装置がないので、照明器具にトレシングペーパーを貼ることで照度を変化させた。なお、外光の影響を排除するため遮光カーテンで遮って行った。

##### 1) トレペの枚数と平均照度の関係

図 3-3 に結果を示す。トレペの無い状態での机上面平均照度は 1058lx であるが、トレペの枚数を増やすと照度がほぼ直線的に下がる。トレペ 10 枚で平均照度が 221lx まで下がった。

##### 2) アンケート結果

講義では、スクリーンに映る画像を見て、配布資料を読んで、演習課題を解く、90 分の

授業の最後にアンケートを実施した。

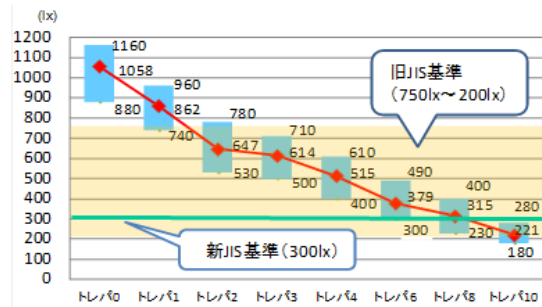


図 3-3 トレペの枚数と机上面照度の関係

・「明るい/暗い」では、図 3-4 に示すように、トレペの枚数を増やすと明るいとする回答が減る。明るいと暗いが逆転するのは、トレペ 6 枚 (照度 379lx) とトレペ 8 枚 (照度 315lx) の間である。学校の JIS の照度基準 (300lx) とほぼ見合う。なお、「眩しい/眩しくない」では、トレペ 2 枚 (照度 862) から眩しいが 7%以下に減る。

・スクリーンが「見やすい/見にくい」では、トレペ 0~1 枚では「見にくい」の回答が多いが、トレペ 2 枚以上では「見やすい」が急に増え 70%を超えた。これは照明から高い輝度が消え、相対的にスクリーンが見やすくなったためである。通常の授業では、照明が眩しいため最前列の照明を消さないでスクリーンが見えない。このため前方の席の照度が著しく落ちてしまう。今回の実験ではこの問題が完全に解消された。

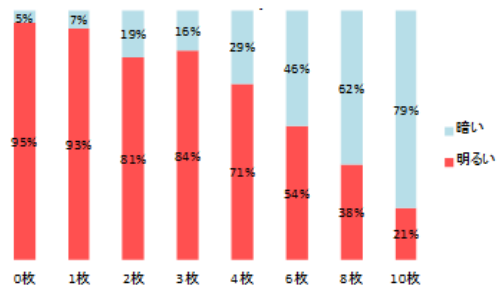


図 3-4 「明るい/暗い」の回答

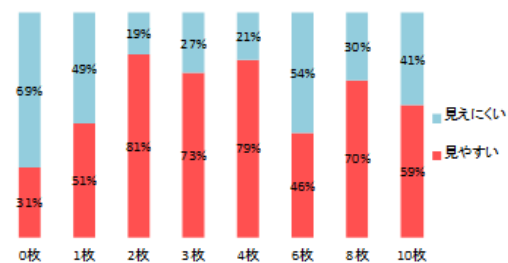


図 3-5 「見やすい/見にくい」の回答

##### 3) 輝度分布との分析

図 3-5 のトレペ 6 枚で「見やすい」が下がっているのは、一部の照明器具のトレペがはがれてしまったため、照明がむき出しとなり

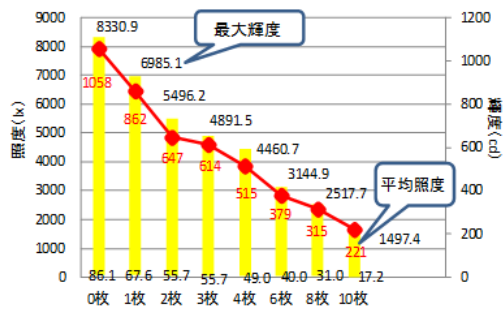


図 3-6 輝度と照度の関係

「まぶしさ」を感じてしまった結果である。このように「見やすい／見にくい」には輝度が大いに関係する。

図 3-6 は輝度の測定結果である。100 人教室の最後列で撮影した画像から輝度を求めた。魚眼レンズで撮影した画像は誘導視野の範囲で輝度に変換した。初めのトレペ無しでは最高輝度が  $8331\text{cd/m}^2$  と高いが、トレペの枚数を増やすと輝度もほぼ直線的に下がる。「見やすい」が 81% と高くなったトレペ 2 枚ではトレペの拡散効果で最高輝度が  $5496\text{cd/m}^2$  まで下がった。この辺りが「眩しい・眩しくない」の境界ではないかと推察する。これよりも、トレペの枚数を増やすと照度が下がるが、輝度も下がるので、「見やすい」状態はそれほど下らない。

<結論> 照明設計では、机上面の照度だけでなく、視野にどれだけ高い輝度が入るかが重要である。直接照明は照明の高い輝度が目に入るため、眩しく瞳が閉じ、逆に照度を上げねばならない。視環境的に好ましい照明とは言えない。この実験ではトレペで覆うことで高い輝度が避けられ、結果的に低い照度でも、何ら問題はなく、むしろ「見やすい」という回答が増えた。

今後、照明では、良好な視環境と省エネルギーの両立を図らなければならないが、机上面照度だけでなく、輝度分布を考慮した照明設計法を作り出さなければならない。また、照明は建物全体のエネルギーの約 30% (事務所) を占めることから省エネルギーは重要であり、照明電力を削減することは冷房負荷の削減になり、その相乗効果も大きい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

- ① 永田哲、猪岡達夫ほか、講義室の照明による省エネルギーの可能性の研究、空気調和・衛生工学会中部支部、学術研究発表会論文集、第 14 号、2013-03、pp.111-114、査読無
- ② 梁瀬灯、猪岡達夫ほか、内外ブラインドの日射遮蔽性能の比較分析、空気調和・衛生工学会中部支部、学術研究発表会論文集、第 14 号、2013-03、pp.115-118、査読無
- ③ 森本貴之、猪岡達夫ほか、窓の日射遮蔽物

の日射遮蔽性能の比較実験、空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、第 14 号、2013-03、pp.119-124、査読無

④ 長谷川雄大、猪岡達夫ほか、屋上に設置した日射遮蔽物の日射遮蔽性能の比較実験、空気調和・衛生工学会中部支部、学術研究発表会論文集、第 14 号、2013-03、pp.125-128、査読無

⑤ 一瀬茂弘・猪岡達夫、Practical Study on Energy Saving Method of Small Building with Multi-Split type Air-Conditioning System、ISHVAC、Annex53、CD、2011-09、査読有

〔学会発表〕 (計 8 件)

① 一瀬茂弘・河路友也・崔光洙、猪岡達夫ほか、個別分散型空調システムの運用改善による省エネルギー効果に関する実践研究、日本建築学会大会 (早稲田大学)、2011-08-23

② 武田実可子・安田依加・猪岡達夫、間接照明の実用化に向けた基礎実験、日本建築学会大会 (早稲田大学)、2011-08-23

③ 猪岡達夫・山下恵、新しい省エネルギー法の空調評価のための熱負荷算定法の検討、日本建築学会大会 (早稲田大学)、2011-08-23

④ 猪岡達夫ほか、業務用建築物の年間空調エネルギー消費量簡略計算法の開発 (その 2) EDD に準拠した日別熱負荷の算定法、空気調和・衛生工学会大会 (名古屋大学)、2011-09-16

⑤ 山下恵、猪岡達夫ほか、個別分散型空調システムの運用改善による省エネルギー効果に関する実践研究、日本建築学会大会 (富山大学)、2010-09-09

⑥ 山下恵、猪岡達夫ほか、業務用建築物のためのエネルギー消費量評価手法に関する調査研究 (その 12) 事務所建物 (中部地区) における内部発熱に関する調査結果、空気調和・衛生工学会大会 (山口大学)、2010-09-02

⑦ 川添智之、猪岡達夫、空調設備の最適設計に関する研究 ～年間ピーク負荷計算による設備容量の適正化～、空気調和・衛生工学会大会 (山口大学)、2010-09-02

⑧ 崔光洙、猪岡達夫ほか、個別分散型空調システムを導入した既存事務所建物の省エネルギー化に向けた実証的研究、空気調和・衛生工学会大会 (山口大学)、2010-09-01

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

猪岡 達夫 (INOOKA TATSUO)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：20367668