

〈特別研究課題〉 観葉植物のVOC除去機構の解明と
その応用に関する研究
助成研究者 豊橋技術科学大学 松本 博



観葉植物のVOC除去機構の解明とその応用に関する研究

松本 博
(豊橋技術科学大学)

Study on the Effect of Foliage Plants on Removing Volatile Organic Compound and its Application

Hiroshi Matsumoto
(Toyohashi University of Technology)

The objective of this paper is to demonstrate an ability of foliage plants quantitatively to remove chemical contaminants by experiments using a small desiccator for the different kinds of plant under the different luminescence and light sources, fluorescent, incandescent and light-emitting-diode (LED) lamps. The foliage plants, *Benjamin*, *Spathiphyllum*, *Areca palm* and *Concinna*, cultivated in hydroponics were used. Also the effect of foliage plant on perceived air quality and productivity was investigated by the subject experiments using an indoor climate chamber. As a result of the experiments, the effective performance of contaminant removal was obtained under lighting conditions with the different intensity distribution by wavelength for the case of pulse injection of toluene into the chamber without ventilation. The removal efficiency of toluene under an incandescent light was larger than that under a fluorescent lamp. The different removal efficiency was obtained according to the kind of LED with different intensity distribution and foliage plants. The blue LED lamp showed the highest removal efficiency among the LED lamps evaluated in this study. Subject evaluation for indoor air environment with plants such as air movement perception and preference, indoor air quality and so on was generally better than that that without plants.

1. はじめに

室内における「シックハウス」症候群や化学物質過敏症が大きな社会問題となって以来、その防止対策として様々な手法が提案・実施されてきたが、それらは主に換気による汚染質の希釈やソースコントロールによる放散量の低減手法（自然素材の採用，ベークアウト，吸着シートなど）が中心であった。しかしながら，立地条件（外気が新鮮空気として利用できない場合など）やターゲットとしているVOCの種類（放散機構や吸・脱着特性などが未解明）によっては，必ずしも十分な除去効果・空気質制御が期待できないのが実状である。

本研究は，第3の手法として立地条件に影響されず，また第2の手法ほど対象とするVOCの種類に限定されないフィルトレーション（ろ過）のカテゴリーに属する手法に着目して観葉植物を扱う。観葉植物のVOC除去機構については様々な説^{9,10}があるが，まだその機構については明らかになっていない。ここでは主に観葉植物によるVOC除去機構の解明とその効果を応用したシステムの性能を明らかにすることを目的として，先ず，これまでの研究成果^{9,10}を継承して，デシケータを用いた観葉植物単体のVOC除去性能評価実験ならびに実大の室内環境実験チャンバーを用いて，室内環境における植物が生理・心理的反応や知的生産性（プロダクティビティ）に及ぼす影響に関する被験者実験を行い，グリーン・アメニティ¹¹の効果を明らかにする。

2. 植物のVOC除去効果に関する基礎実験

2.1 実験概要

Figure 1に実験装置の概要を示す。異なる光環境下における植物のVOC除去効果を調べるために光を透過する透明なアクリル製デシケータ（有効内法寸法560×483×986mm）に植物を入れて密閉し，VOCガス注入後のVCO濃度測定を行った。具体的な実験手順としては，測定開始3時間後にフラスコ内で揮発させたトルエンまたはホルムアルデヒドを含む空気をシリンジでデシケータ内に注入し，トルエンまたはホルムアルデヒドおよび二酸化炭素濃度をマルチガスモニタで24時間連続測定した。実験中はサーモレコーダを用いてデシケータ内外の温湿度を10分間隔で記録した。また，各光源の照度・光の波長分布を事前に測定した。

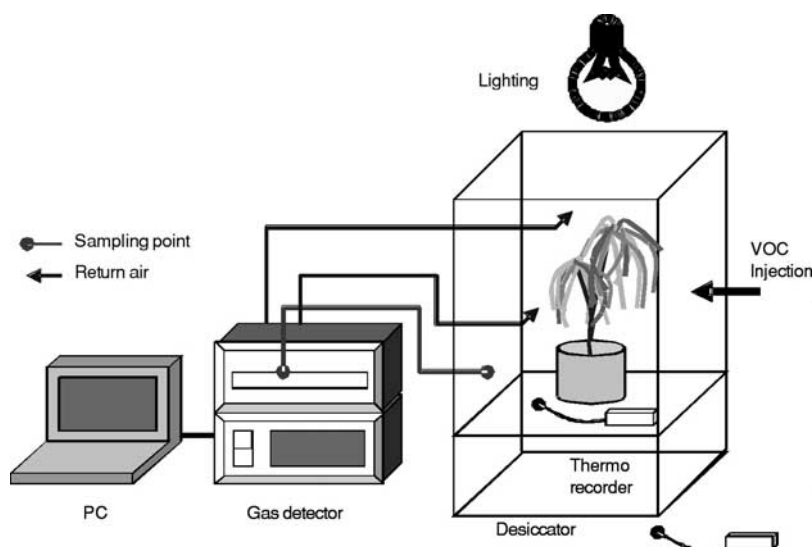


Figure 1 Measurement system

デシケータの設置場所は、豊橋技術科学大学の自然エネルギー棟107号室で、窓に暗幕を取り付け外からの光を遮断した。デシケータ内の植物に当てる人工照明の光は、実験条件に合わせて調整した。なお、LED照明を用いた実験については、2007年1月に自然エネルギー棟107号室内に新しく設置した実験用チャンバー内で行った。また、実験には無機質の発砲煉石(レカトン)に植物を植える方法を用いたハイドロカルチャーで育てられた観葉植物を使用した。観葉植物の種類としてベンジャミン、スパティフィラム、アレカヤシ、コンシンネを用いた。

実験項目をTable 1に示す。本実験の前に予備実験として実験装置の基本性能を確認するためにデシケータ内に何も入れずに密閉し、トルエンを注入してデシケータの気密性を確認する実験を行い、十分気密であることを確認した。植物の種類と光源の照度の違いによる除去性能の比較では、蛍光灯の照度を350lxに設定して各種植物（ベンジャミン、スパティフィラム、アレカヤシ、コンシンネ）のトルエン除去性能を比較した。次に蛍光灯の照度を700lx, 1050lxに設定して同様の実験を行った。波長の違いによる除去性能の比較では、赤色LED照明、青色LED照明、赤色と青色の混合LED照明（B / R比：0.25）の3つのパターンで実験を行った。この実験ではLED照明は350lxに設定し、ベンジャミンを試験体として用いた。植物のホルムアルデヒド除去性能の比較では、蛍光灯の照度を350lxに設定して各種植物（ベンジャミン、スパティフィラム、アレカヤシ、コンシンネ）のホルムアルデヒド除去性能を比較した。次に、蛍光灯の照度を700lxに設定して同様の実験を行った。

Table 1 Experimental items

Items	Contents
Chemical contaminant	Toluene
Light sources	Fluorescent light
	Incandescence light
	Light-emitting diode (LED)
Foliage plants	Benjamin
	Spathiphyllum
	Areca palm
	Concinna
Illuminance	350 lx
	700 lx
	1050 lx
Wavelengths of the light	Red LED
	Blue LED
	Red and blue (B/R ratio 0.25)

3. 実験結果

3.1 光源の種類の違いによる除去性能

一般的な住宅等で使用される白熱電球と蛍光灯の人工光源がVOC除去に与える影響を調べた。照度計にはA級照度計（東京光電株式会社），波長分布の測定には，コンパクト・スペクトロメーターS100 (Solar Laser社)を用いた。本実験で使用した光源の波長分布をFigure 2に示す。蛍光灯は，ある特定の波長で卓越したスペクトルを持つが，白熱灯は広い波長域で連続的に比較的均一のスペクトルを持っている。Figure 3 に光源なし，白熱電球および蛍光灯の実験開始10時間後および20時間後のトルエンの累積除去量を示す。今回の実験では白熱電球の方が蛍光灯に比べ除去量がやや高いという結果が得られた。

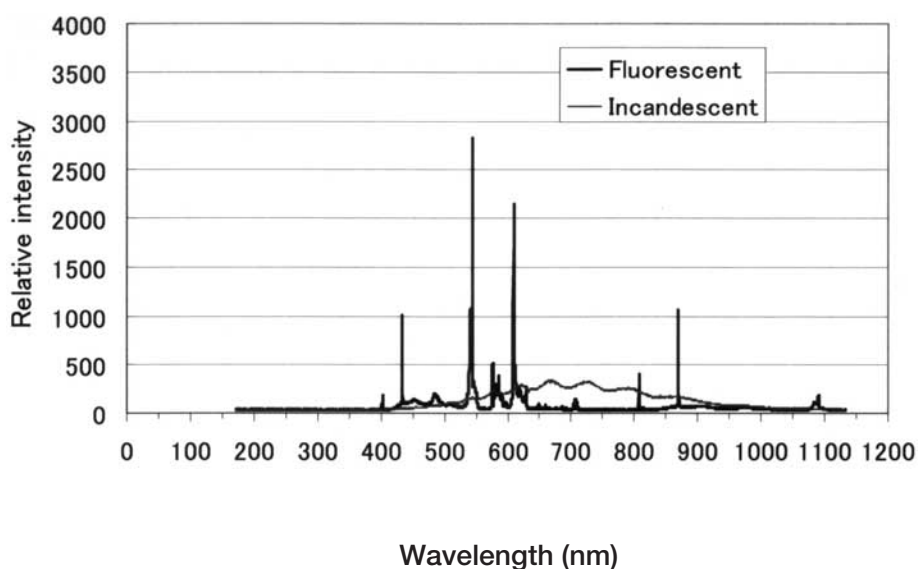


Figure 2 Spectrum distributions of the fluorescent and incandescent lights

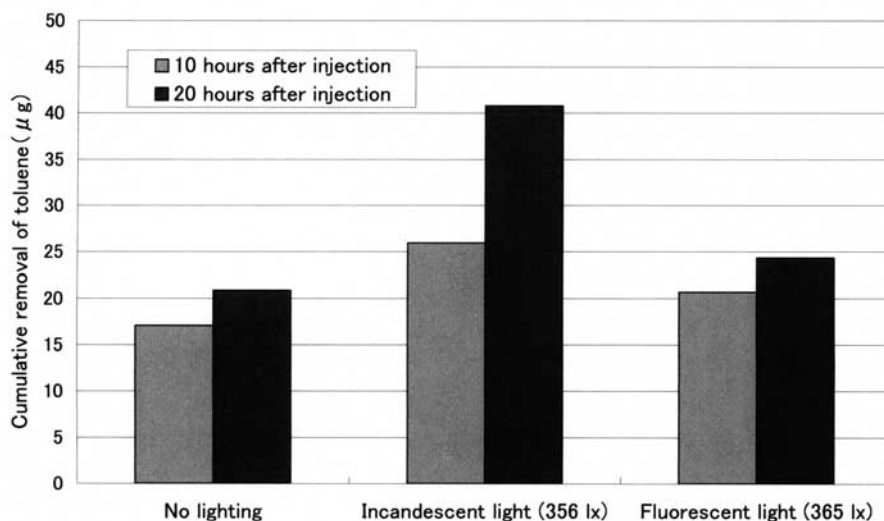
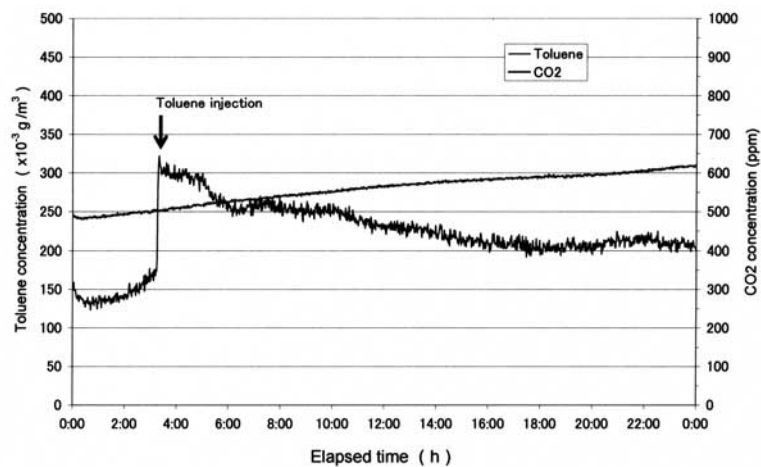


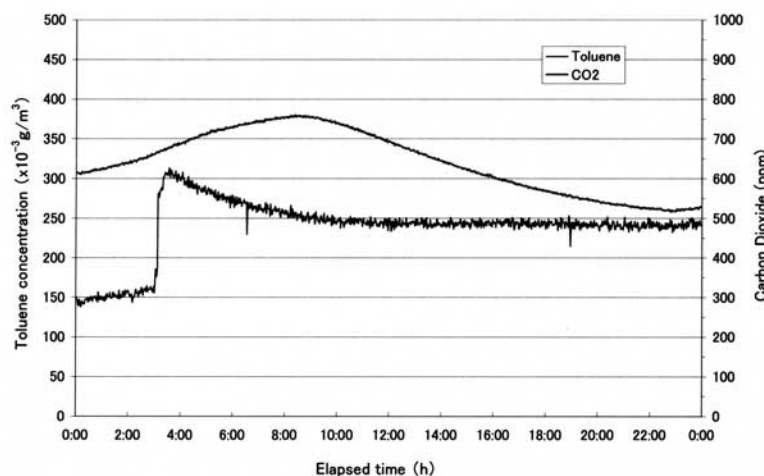
Figure 3 Cumulative removal of toluene under the different lights

3.2 光源の照度の違いによる除去性能

Figure 4に蛍光灯の照度700および1050lxにおけるトルエンおよびCO₂濃度の時間変化を示す。また、Figure 5に4種類の植物に対する照度別のトルエン除去率を示す。ベンジャミンは蛍光灯が350lx, 1050lxでは比較的低い除去率を示し、700lxでは、350lxの2倍以上の除去率、1050lxと比較しても2倍近い除去率を示し、3パターンの照度の内のちょうど中間の照度で最も高くなった。スパティフィラムは蛍光灯の照度が上がるにつれて明らかにトルエンの除去性能が低下し、1050lxではかなり低い除去率となった。アレカヤシは350lx, 700lxではトルエンの除去性能は低いのが1050lxでは350lx, 700lxの場合の2倍近い除去率を示した。コンシンネはスパティフィラムほどではないが、照度が上がるにつれ除去率が下がる傾向が見られた。このように、植物は種類によってトルエンを効率的に除去する照度にかかなり違いがあることが分かった。一般的に照度がある程度高い方が効率的にトルエンを除去すると言われているが、植物の種類によっては高い照度に適したもの、低い照度に適したもの、またその中間に位置するものもあると考えられる。しかし、今回中間の照度でトルエンの除去率が最も高くなったベンジャミンに関しては、他の照度での実験時に比べて中間の照度の実験時にトルエン注入前の濃度が高くトルエン注入後の濃度が相対的に低くなったことが影響している可能性も考えられる。



(a) Fluorescent illuminance 700 lx



(b) Fluorescent illuminance 1,050 lx

Figure 4 Toluene and CO₂ concentrations vs. elapsed time

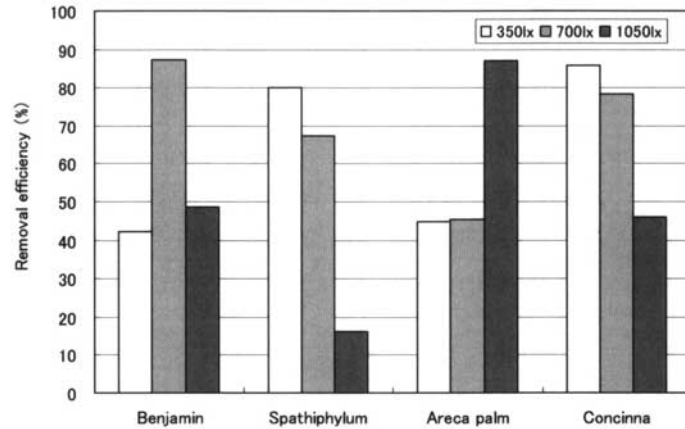


Figure 5 Removal efficiency of toluene under different illuminance

3.3 波長の違いによる除去性能

Figure 6に赤色LED照明，青色LED照明，赤青混合LED照明（B/R比：0.25）の波長分布，Figure 7に実験結果を示す。これまでの実験でもLED照明を使ってきたが，市販の異なるLED照明の照度にかなりばらつきあり，特に青色LEDは他の色のLEDと比べると同じメーカーの商品でもかなり照度が低いものしか入手できなかった。それにも関わらずこれまでの研究では，青色LEDは照度の高い他の色のLED照明と比較しても同等またはそれ以上のトルエン除去率を示したことから，青色の波長域は植物がトルエン除去に有効と考えられる。青色LED照明を用いた場合にVOC除去効率142.9%が得られ，他の照明を用いた際の除去率と比較して非常に高い除去率を示した（最大除去率はトルエンの注入量分を100%とした時の除去率の割合を示す。赤色LED照明と赤青混合LED照明（B / R比：0.25）は最大除去率が64.5%と63.3%でほぼ同じ除去率を示した）。赤色の波長域は植物の光合成の効果が最も大きいとされ，青色の波長域は葉の正常な形態形成に必要とされている。また，赤色光と青色光の割合（B/R比）と成長の関係を調べる研究が多くなされており，この比が0.1～0.3の場合に成長速度が最大となるとされている⁴⁾ことから，今回の実験で初めて赤色LEDと青色LEDを混合した照明を使用してみたが，赤色LED照明との明らかな差はみられなかった。

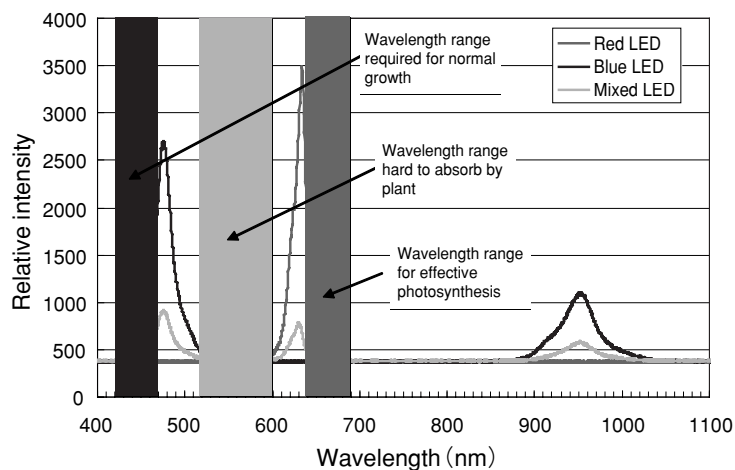


Figure 6 Relative intensity distributions by wavelength of the LED lights

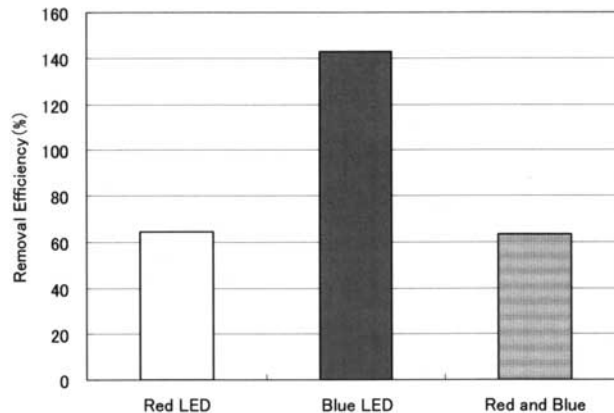


Figure 7 Removal efficiency under the different LED light (350lx)

3.4 ホルムアルデヒドに対する除去性能

ホルムアルデヒドに対する除去性能の実験では、デシケータを3つ同時に使用しての実験を行った。デシケータを3つ同時に使用することによりデシケータから測定装置にサンプリングした空気をデシケータに戻すことができなくなるので、その影響がどの程度か分かるように3つのデシケータの内1つは植物を入れずサンプリングによる濃度減衰の影響を確認するために使用した。この実験において、植物はベンジャミン、スパティフィラム、アレカヤシ、コンシンネの4種、また光源として蛍光灯を用い、350lxと700lxの2パターンを設定し、合計8パターンの実験を行ったが、全ての実験において、デシケータ内に植物を入れない場合と比較して有意差が見られなかった。(図表省略)

4. 植物がプロダクティビティおよび室内空気質の評価に与える影響に関する被験者実験

近年、室内環境と居住者の知的生産性（プロダクティビティ）に関する研究が欧米を中心に多く行われ、環境改善が予防医学や経済効果に繋がる有力な技術であることが分ってきた。しかしながら、植物のもつ化学物質除去や調湿効果など、植物の持ついわゆる“グリーン・アメニティ”効果に着目したプロダクティビティに関する研究は見あたらない。そこで、本研究では、観葉植物の有無が居住者のプロダクティビティおよび生理・心理反応ならびに知覚空気質の評価に与える影響を明らかにするために、実大のチャンバーを用いた被験者実験を行った。

4.1 実験概要

Figure8に示すような温度制御可能な実大チャンバー（内法3.6×2.7×2.4m）を用いて、観葉植物が生理・心理反応およびプロダクティビティに与える影響に関する被験者実験を行った。また、環境要素として温度分布、相対湿度、二酸化炭素濃度、トルエン濃度、心拍数、体温、体表面温度、体重などを計測し、着衣量はPicture 1 に示すような標準着衣（1.0clo）を用いた。実験の様子をPicture1に示す。実験方法としては、1回の実験において椅座状態の被験者2名（全体では計10名の成人）に対して、Figure9のスケジュールに従って、熱・空気環境に対するアンケートおよびクレペリントテストを行った。用いた観葉植物はPicture2に示すパキラ、ベンジャミン、アレカヤシの3種類として、この植物の有無による違いを調べた。

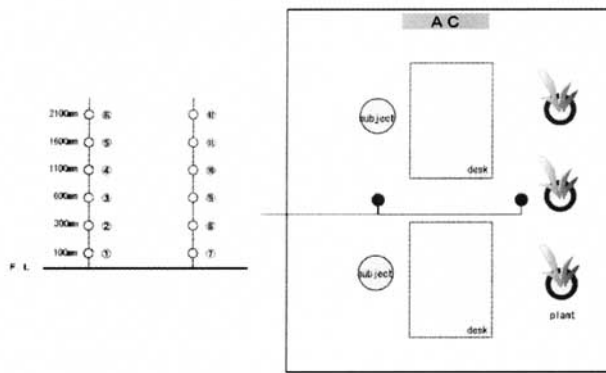
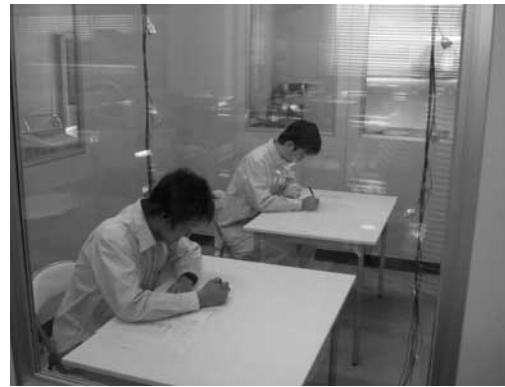


Figure 8 Subject Experiment
(left:measurement points, right:chamber plan)



Picture 1 Subject Experiment in the
indoor climate chamber



パキラ



ベンジャミン



アレカヤシ

Picture 2 Foliage plants

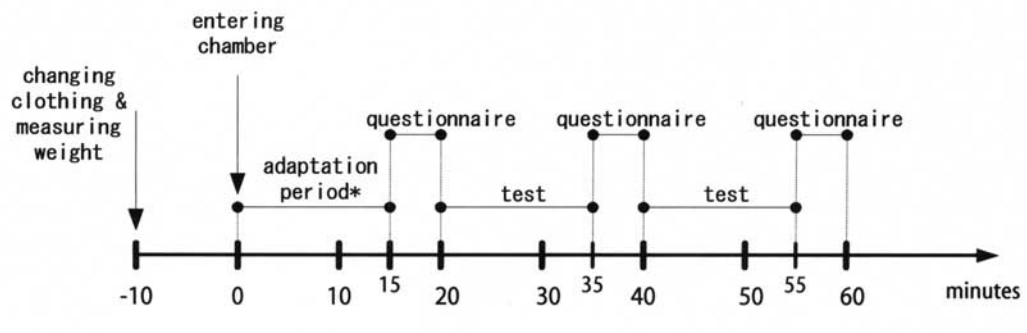


Figure 9 Schedule of the experiment with/without plants

4.2 植物がプロダクティビティに与える影響

Figure 10にクレペリンテスト(4回)による達成数の時間的推移を示す。被験者毎の達成数の推移を見ると、植物の有無に関わらず学習効果により右肩上がりに達成数が上昇していることがわかる。このことから観葉植物によるプロダクティビティ向上の効果は確認できなかった。これは、実験中に被験者がわき目もふらずテストに没頭するため、植物の有無による適切な試験方法ではなかった。今後は、植物が目に入る試験方法に改善する必要がある。

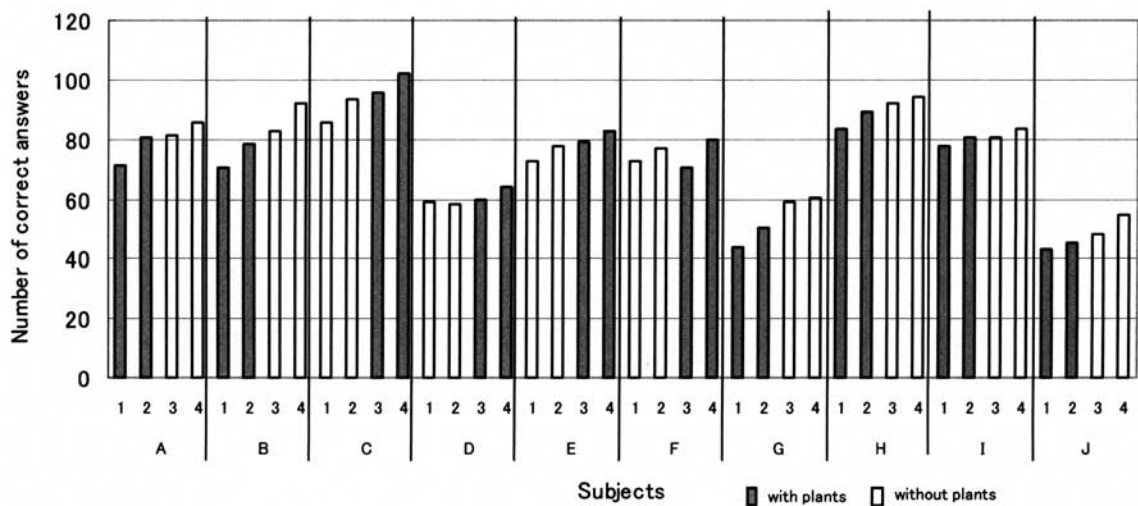


Figure 10 Number of correct answers by subject experiments

4.3 植物が知覚空気質の評価に与える影響

被験者の植物の有無による生理・心理反応を調べるために、被験者実験を行った。知覚空気質に関するアンケートの質問項目は、温度感覚(温冷感、温度の好み)、気流感覚(気流感知、気流の好み)、室内環境(快適感、空気感)、身体感覚(疲労感(目)、疲労感(脳)、疲労感(手)、眠気、臭気)とし、入室後15、35、55分後の3回とした。

Figure 11は、植物の有無における気流の好みの時間変化を示す。植物の有無に関わらず時間の経過と共に傾きがプラスになっており被験者はより高い気流感を好む傾向にあった。また、全体的に植物有りの方が、より遅い気流感を好む傾向があり、植物の存在が間接的に気流感を生み出す傾向があるものと考えられる。Figure 12は、植物の有無による室内空気質の被験者による評価の時間推移を示す。全体的に時間の経過と共に空気質の評価は下がる傾向があるが、植物有りの方が、無しに比べ空気質の評価を高く評価している。Figure 13~15に目、脳および手の疲労感の申告の時間推移を示す。全体的に植物の有無に関わらず、疲労感は大きくなっており、クレペリンテストによると思われる疲労感が時間と共に増大しているが、植物有りの方が無しよりも疲労感が小さくなっており、植物のグリーン・アメニティ効果が現れている。特に脳の疲労感の時間的変化が非常に小さくなっており、グリーン・アメニティの効果が顕著に出た。臭気に対する評価の時間推移をFigure 16に示す。植物が無しの場合は中立的な評価であるのに対して、植物有りでは全体的にやや感じる側にシフトしているが有意な差は見られなかった。

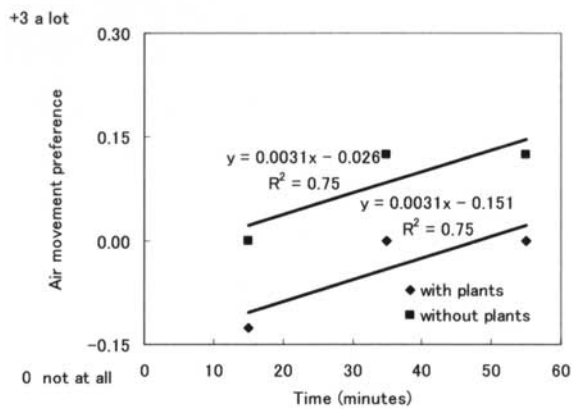


Figure 11 Air movement perception votes in experiment of with/without plants

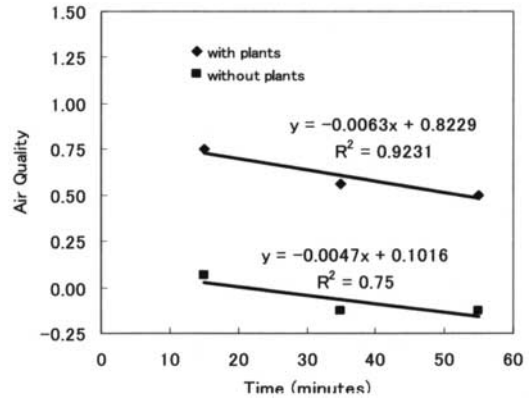


Figure 12 Air Quality votes in experiment of with/without plants

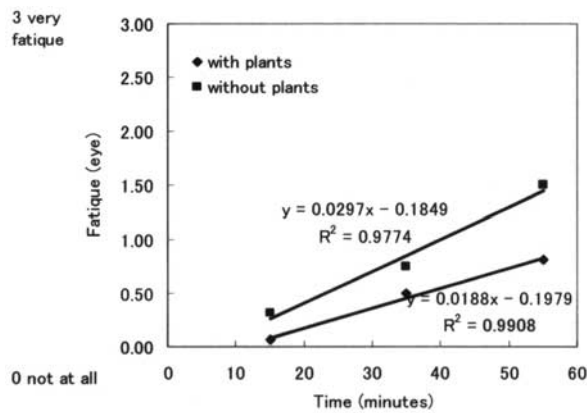


Figure 13 Fatigue (eye)

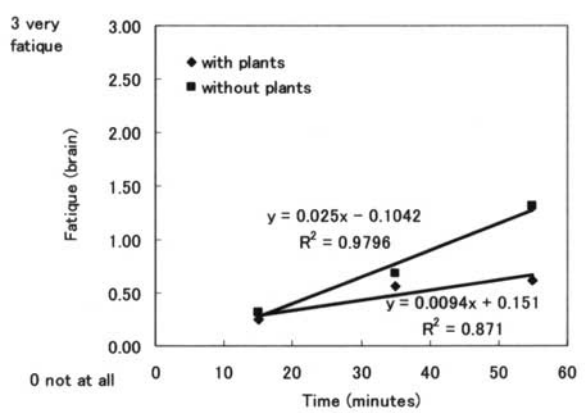


Figure 14 Fatigue (brain)

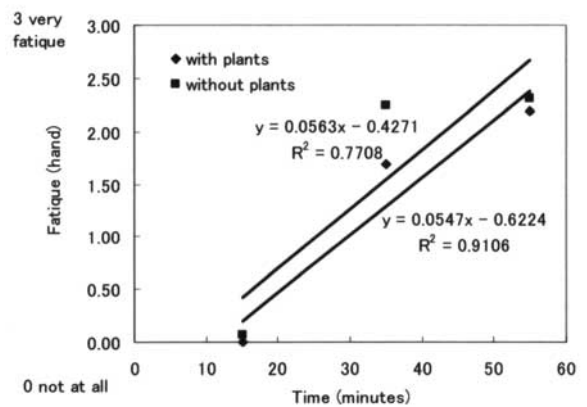


Figure 15 Fatigue (hand)

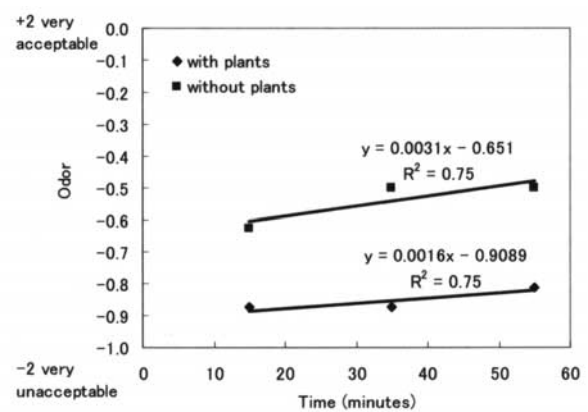


Figure 16 Odor

5. まとめ

植物の種類と光源の照度の違いによる除去性能では、4種類用意した植物で3パターンに設定した照度で実験を行ったが、低照度で最も効率的にトルエンを除去する植物、高照度で最も効率的にトルエンを除去する植物、その中間の照度で最も効率的にトルエンを除去する植物とがあり、植物

は種類によってトルエンを効率的に除去する照度にかなり違いがあることが分かった。光の波長の違いによる除去性能の実験では、同一照度で青色LED照明を用いた場合には、赤色LED照明、赤青混合LED照明を用いた場合よりも2倍以上高い除去率となり、効果が高いことを分かった。また、実大のチャンバーを用いた植物の有無が知覚空気質の評価ならびにプロダクティビティに与える影響に関する被験者実験により、植物の有無がプロダクティビティに与える影響は見られなかったが、知覚空気質の評価では植物の有無が大きく関わるということが分かった。

今後の課題として、植物の種類と光源の照度の違いによる除去性能では、植物ごとで特徴的な結果が得られたが、今回用いた植物は1種につき1個体で実験回数も少なかったことから、個体差や周りの環境の影響で実際の植物の特性を明確に確認できたとは言えないかもしれない。そこで今後は1種につきいくつもの個体を用意し、実験を繰り返して植物の種類ごとでどのような特徴があるか確認する必要があると考えられる。光の波長の違いによる除去性能では、今回は時間の関係もあり3種の照明パターンでしか実験ができなかったが、今後照明のパターンを増やして実験を行うことにより興味深い結果が得られる可能性がある。また、実験は実験開始から24時間で測定を終了したが、各実験とも終了時でもトルエン濃度が減少傾向にあることから今後の実験では測定時間を延長する必要があると考えられる。さらに被験者実験においてプロダクティビティのテスト方法を再考する必要がある。

謝辞

本研究は、(財)日比科学技術振興財団研究助成金によるもので、資金援助なしには為しえなかったものである。研究の遂行にあたり、山口真史君(当時本学大学院生)、本学大学院生中尾圭吾君、外国人研究員Listiani Nurul Huda博士の協力を得た。また、(株)プラネットから貴重な観葉植物の提供を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Wolverton, B. C., A. Johnson and K. Bounds: Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement FINAL REPORT for NASA, 1989
- 2) R.A. Wood, R.L. Orwell, M.D. Burchett: Rates of Absorption of VOCs by Commonly Used Indoor Plants, Proc. of 5th International Conference on Healthy Buildings, Vol.2, 59-64, 1997
- 3) Kempeneer, L D, Sercu, B, Vanbrabant, W, Van Langenhove et al.: Bioaugmentation of the Phyllosphere for the Removal of Toluene from Indoor Air, Appl Microbiol Biotechnol, 64, 284-288, 2004
- 4) 沢田史子, 吉田武稔, 黒田浩之, 大藪多可志, 竹中幸三郎: ポトスとスパティフィラムの室内空気汚染物除去効果とその実環境への応用, IEEJ Trans. SM. Vol. 125, No.3, 118-123, 2005
- 5) Wood, R A, Burchett, M D, Alquezar, R, Orwell, R, Tarran, J and Torry, F.. The Potted-plant Microcosm Substantially Reduces Indoor Air VOC Pollution: I. Office-field Study. Water, Air and Soil Pollution, 175, 163-180, 2006

- 6) 後藤英司：光質と植物育成,照明学会誌,第88巻 第6号, 336-340, 平成16年
- 7) 後藤英司：LEDの植物育成分野への応用,照明学会誌,第89巻 第3号, 142-144, 平成17年
- 8) Takatsuji, M.: The Basic and Practices of Plant Factories, Shokabo Tokyo, 1996
- 9) 高橋美紀子：室内における観葉植物のVOC除去に関する実験的研究, 平成16年度豊橋技術科学大学大学院建設工学専攻修士論文, 2005
- 10) 山口真史, 松本博, 大倉智子, 佐藤弘康：室内における観葉植物のVOC除去に関する実験的研究
その1 実験の概要と植物の違いによるVOC除去効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 957-958, 2005
- 11) 松本博：グリーン・アメニティ効果と室内空気環境, 住まいと電化, Vol.18, 17-20, 2006

本研究に関連した研究業績

- 1) 山口真史: 室内の光環境が観葉植物のVOC除去性能に及ぼす影響に関する実験的研究, 平成18年度豊橋技術科学大学大学院建設工学専攻修士論文, 2007
- 2) 中尾圭吾, 松本博：室内の光環境が観葉植物のVOC除去性能に及ぼす影響に関する実験的研究
その1 光の波長分布とトルエン除去性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 975-976, 2007
- 3) Matsumoto, H. and Yamaguchi M.: Experimental Study on the Effect of Foliage Plants on Removing Indoor Air Contaminants, Clima2007 Congress, 2007