

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24年 6月 8日現在

機関番号：24402

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650171

研究課題名（和文） 夜間大規模停電下において有効な蓄光避難誘導システムの提案

研究課題名（英文） Study on safety way guidance systems using phosphorescent materials

研究代表者

酒井 英樹 (SAKAI HIDEKI)

大阪市立大学・大学院生活科学研究科・准教授

研究者番号：90277830

研究成果の概要（和文）：照明光源に含まれるわずかな紫外線で励起され、停電後にりん光を発する蓄光材を使った蓄光式誘導標識の発光輝度を向上させる方法を検討した。その結果、視認性確保のために設置されている夜間照明からの漏れ光などによって、弱いながらも常に（停電直前まで）励起状態を保つことが、夜間停電時の発光輝度を高める方法として有効であり、また、照明に用いる光源としては、色温度の高い蛍光灯が適していることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We studied several enhancement methods of luminance of evacuation guidance signs made of afterglow phosphorescent materials under the electric power failure and found that the most efficient way is to keep the phosphorescent materials in the excited state constantly by lamps installed for nighttime visibility until just before electric power failure. We also found that the fluorescent lamps with high color temperatures are most effective as an excitation light source.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	240,000	2,140,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：住環境，安全・安心，防災，省エネルギー，蓄光

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在の防災照明設備は、大震災などにより発生する可能性のある広域停電下での緊急避難・救助に必要な屋外の明かりの確保については想定しておらず、また、屋内についても、一般住宅では非常用電源を備えた照明設備の設置が義務付けられていない。これら

のことから、広域停電を伴う災害が夜間に発生した場合、屋内では出口が見えず、屋外では広域避難場所を示す標識が見えず、暗闇の中で、避難すべき方向に戸惑い、屋内外において、避難パニックが発生することが懸念される。

(2) 停電時の明かりを確保するものとしては、従来から、充電電池を内蔵し、停電時や地震時に自動的に発光する非常用照明や誘導標識製品が存在し、法令で設置義務のある商業施設等ではすでに設置されている。また、設置義務はないものの、同様の仕組みの製品は、一般家庭向けにも市販されており、さらに、屋外についても、津波被害が想定される自治体を中心に、屋外に設置されている例も見られる。しかし、充電式の非常用照明機器は、たとえ使用の機会がなくても、数年おきに充電電池を交換することが必要である。法令で設置義務のある箇所は動作確認など定期的な保守点検がなされるが、設置義務のない一般住宅内や屋外では、設置はしたものの、その後点検されることなく放置され、また、緊急時に使用するものであるため、機器の故障に気づかず、いざというときに稼働しない状態になっていることも多く、なんらかの対策が必要である。

(3) このような状況から、近年、照明光源にわずかに含まれる紫外線で励起され、消灯後、または、停電時にりん光（残光）を発する蓄光材を使った蓄光式誘導標識が注目されている。これら蓄光材は、電気を必要としないため定期的な部品の交換が不要で、機器の故障の心配もない。屋内外で長期間、メンテナンスフリーで使えるため、定期的な保守点検が期待できない箇所での利用が見込まれる。ただし、現在流通している蓄光材の発光輝度は、性能のよいものでも励起直後で高々1000 [mcd/m²]程度であり、さらに、時間と共に急速に暗くなっていくことから、充電電池式の誘導標識ほどの誘導性は持たないことが、複数報告されている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、上述の背景を鑑み、蓄光式誘導標識の発光輝度を向上させる方法を検証し、停電時において有効な避難誘導システムとして提案するものである。

蓄光標識の発光輝度を増強させるには、

- ・蓄光材の蓄光性能を向上させる、
- ・発光されたりん光を集光して実効輝度を向上させる、
- ・励起源（紫外線）を確保して高励起状態を保つ、

という方法が考えられる。しかし、蓄光材の蓄光性能向上については、従来の蓄光材と比べてりん光輝度の高いアルミン酸ストロンチウム結晶系の蓄光材料が1993年に根本特殊化学によって開発されて以降、国内外で研究開発が活発に行われているものの、大幅な蓄光性能の向上は得られていない。また、発光されたりん光を集光して実効輝度を向上させる方法では、集光によって発光輝度は増

加するものの、見かけの発光面積が低下することから視認性向上への効果が限定的であり、さらに、集光するために設置したレンズ等が励起する光を遮るため励起効率が低下することなどから、本研究では、励起源（紫外線）を確保して高励起状態を保つことにより、停電時の発光輝度を増強させる方法を主な課題とした。

(2) 励起源の確保として、蓄光材励起用にブラックライトなど紫外線発光体を設置することも不可能ではないが、充電式誘導標識との差別化の観点から、すでに夜間照明として設置されている照明光源に含まれる紫外線を励起源として考え、どのような照明光源が、励起源として適しているかを検討することとした。この方法であれば、蓄光式標識を設置するだけでよく、また、励起源は、夜間照明として利用されているために、ランプの寿命や点灯器具の故障は特別な検査等によらずに使用者が気づくことができ、ランプの交換や器具の修理がすぐになされることが期待できる。よって、蓄光式標識のための定期点検やメンテナンスは不要である。なお、屋外の場合は、太陽光も励起源となりうるが、紫外線が多く含まれる太陽光によって日に励起されたとしても、蓄光材の励起状態には上限があり（飽和状態となり）、日没直後から時間と共に急速に暗くなっていくことから、励起源としては、常に励起状態を保つことが可能な街路照明等を想定し検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 蓄光材の残光輝度の測定は、JIS Z9107（安全標識—性能の分類、性能基準及び試験方法）に従って、23±3°Cに調温された暗室内において実施した。まず、測定に先立って、蓄光試料を、密閉した金属容器内に入れて、48時間以上遮光し、励起されていない状態とする。つぎに、表1に示す7種の照射光源について、試料を設置する場所が200 [lx]（コニミノルタ社、色彩照度計 CL-200 で測定）になるように光源の位置を調整したあと、金属容器から取り出した蓄光試料を20分間照射する（図1a）。その後消灯し、消灯2分後、10分後、20分後の蓄光試料面のりん光輝度（残光輝度）を輝度計（コニミノルタ社、輝度計 LS-100）で測定する（図1b）。表1の光源は、光源1が常用光源 D65 蛍光ランプ（20W）、光源2、3が電球形蛍光灯（3波長形、60W形相当）、光源4、5が電球形 LED 灯（60W形相当）、光源6が白熱灯（100W形相当）、光源7が高圧ナトリウム灯（40W形）である、光源1を除き、住宅照明や街路照明で広く使われている光源である。

表1 励起に用いた光源一覧

照射光源	光源色	相関色温度* [K]	発光効率** [lm/W]
1:常用光源D65	昼光色	5779	35.0
2:蛍光灯(3波長形)	昼白色	4830	65.0
3:蛍光灯(3波長形)	電球色	2675	67.5
4:LED灯	(白色)	4708	81.9
5:LED灯	(電球色)	2702	55.1
6:白熱灯(シリカ電球)	(電球色)	2921	16.9
7:高圧ナトリウム灯	-	(0.530,0.422)	80.0

*)コニカミノルタ色彩照度計CL-200で測定。光源7はxy色度。
**)発光効率は仕様(光束[lx], 消費電力[W])から算出した。

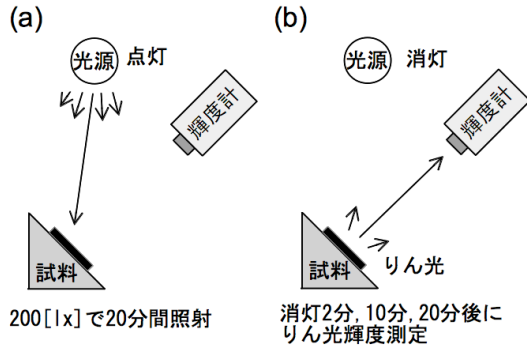


図1 りん光輝度測定の実験配置

(2) 試験試料には、高輝度蓄光材として知られる根本特殊化学の蓄光シート(ルミノーバシート状、一般タイプ、市販品)を用いた。その主成分である蓄光顔料(アルミン酸ストロンチウム結晶)としての仕様(カタログ値)は、励起波長 200 - 470 [nm], りん光発光ピーク波長 520 [nm]である。

この蓄光シートを 70 [mm] × 75 [mm] の大きさにカットし、アルミ板に貼付けた試料片を3個作成した。そして、表1の7種の光源それぞれについて、(1)で述べた測定手順によって、3つの試料を入れ替えてりん光輝度測定を3回行い、その3回の平均値をそれぞれの光源下におけるりん光(残光)輝度値とした。

4. 研究成果

(1) 測定結果を表2及び図2に示す。

表2 りん光輝度の測定結果

照射光源	光源色	2分後 [mcd/m ²]	10分後 [mcd/m ²]	20分後 [mcd/m ²]
1:常用光源D65	昼光色	828	239	130
2:蛍光灯(3波長形)	昼白色	771	224	125
3:蛍光灯(3波長形)	電球色	500	176	102
4:LED灯	(白色)	444	155	98
5:LED灯	(電球色)	208	93	61
6:白熱灯(シリカ電球)	(電球色)	372	150	92
7:高圧ナトリウム灯	-	127	70	59

測定結果を見ると、すべての経過時間において、各光源(光源2から7)とも、常用光源蛍光灯D65(光源1)と比べて低いりん

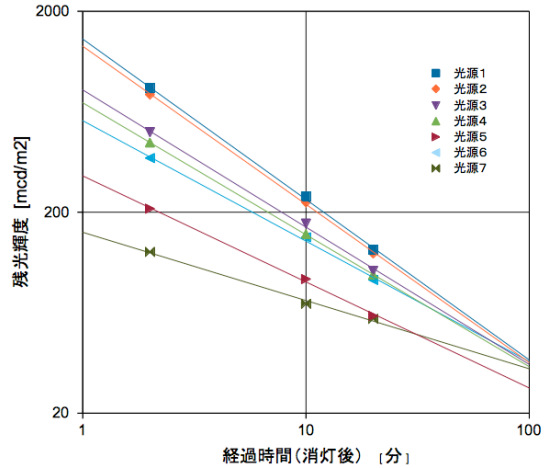


図2 りん光輝度の測定結果

光輝度を示している。

蓄光材の性能指標であるりん光輝度は、JIS Z9107(安全標識-性能の分類、性能基準及び試験方法)において、常用光源蛍光灯D65の下で励起した場合について規定されており、蓄光製品のカタログや仕様書には、このD65灯で励起した際の輝度数値が記載されることになる。しかし、D65灯は、視感測色などにおいて精密な色観察を行う際に用いられる特別な照明光源であり、住宅やオフィス、屋外照明などで一般的には使われるものではない。光源2から7のような日常的な照明光源の下では、規定値以下のりん光輝度しか期待できないことがわかる。ただし、光源1のD65灯と同じ発光原理の蛍光灯である光源2と3については、日常的に使われる製品(60W相当電球形蛍光灯)であるにも関わらず、D65灯に比較的近いりん光輝度を示しており、とくに、色温度の高い昼白色蛍光灯(光源2)は、経過時間によらずD65灯の90%以上の輝度を示している。

一方、発光原理が異なるLED灯(光源4と5)については、それぞれ光源2、3とほぼ同じ相関色温度(表1)であるにも関わらず、そのりん光輝度は概して低い。とくに、電球色相当LED灯(光源5)は、白熱灯(光源6)よりもりん光輝度が低い。本実験では、照明光源の分光スペクトル及び紫外線量は測定していないが、紫外線放射量が少ないというLED灯の特徴により、照度200 [lx], 照射時間20分では、蓄光材を十分に励起できないことがその原因と考えられる。LED灯は、材料劣化を引き起こす紫外線放射量が少ないのが利点の1つとされているが、蓄光材の励起源としてみた場合は、逆に欠点となっている。

最後に、街路照明や防犯灯として使われる高圧ナトリウム灯(光源7)については、LED灯よりもさらに低い輝度となっている。高圧

ナトリウム灯の発光色は黄色であり、今回使用した蓄光材の励起波長 200 - 470[nm]をほとんど含まないことが原因と考えられる。

なお、同じ発光原理である蛍光灯同士、LED灯同士であれば、色温度の高い方が、りん光輝度が高い。これは、今回用いた蓄光材の励起波長が 200 - 470[nm]であり、可視光の短波長領域による寄与があるためと考えられる。

(2) 平成 21 年消防庁告示第 21 号（誘導灯及び誘導標識の基準の一部を改正する告示）では、D65 灯で励起した表示面の消灯 20 分後の平均輝度が 100[mcd/m²]以上のものを高輝度蓄光式誘導標識（100[mcd/m²]未満は高輝度と呼ばない）と定義していることから、仮に、光源と蓄光材とを一体のもの（システム）と見なし、消灯 20 分後の発光輝度が 100[mcd/m²]以上になる組み合わせを「高輝度蓄光システム」と呼ぶことにすると、D65 灯（光源 1）の他には、光源 2、3 の蛍光灯がそれに該当することになる。ただし、発光効率（表 1）を考えると、効率のよい LED 灯（光源 4）を 200[lx]よりも高い照度で使用すれば、消費電力は同じで、点灯時には照明として明るく、かつ、消灯後の発光輝度も 100[mcd/m²]以上にできる可能性がある。さらに、励起波長が異なる蓄光材を使用するなど、組み合わせによっては、異なる結果が出る可能性も考えられ、表 2 の結果は、光源としての普遍的な励起性能を表すものではない。

このように、蓄光材を用いた避難誘導システムにおける誘導性は、蓄光材単体の性能で決まるものではなく、励起源も含めた照明励起設備全体の組み合わせで決まるものであり、システム全体として設計することが求められる。しかし、現在用いられている性能指標からでは、さまざまな光源に対する蓄光性能を予測することができないことから、組み合わせを考慮した新たな性能評価方法および性能指標の確立が望まれる。

(3) 以上、本研究で明らかになったことをまとめると、

① 蓄光材（アルミン酸ストロンチウム結晶）を同一照度（200[lx]）で励起した場合、常用光源 D65 蛍光ランプで励起した場合が最もりん光輝度が高く、3 波長形蛍光灯、LED 灯、白熱灯、高圧ナトリウム灯の順にりん光輝度が低下する。照明光源として現在普及しつつある LED 灯（蓄光材の主な励起源である紫外線放射量が少ない）の下では、蓄光材が十分に励起されず、とくに、電球色相当 LED 灯は、消灯直後（2 分後）で D65 灯の 4 分の 1 の輝度、20 分後で半分程度のりん光輝度であった。

② 発光原理が同じ蛍光灯同士、LED 灯同士であれば、色温度が高い方が、りん光輝度が高い。これは、今回用いた蓄光材の励起波長が 200 - 470[nm]であり、可視光の短波長領域による寄与があるためと考えられる。照明光源の色温度はこれまで、色の見え方（視覚面）、及び、空間の用途にあわせた雰囲気（感情面）からの評価で選択が行われて来たが、蓄光式誘導標識を採用する場合は、励起効率の観点からの評価も加味する必要がある。

③ 蓄光式誘導標識を使用している場所に設置する照明光源は、照明としての観点からのみでなく、蓄光材の励起源としての評価が必要であり、蓄光材と照明光源との組み合わせを考慮した新たな性能評価方法および性能指標の確立が必要である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

① 酒井英樹，土井正，各種光源下における高輝度蓄光材の残光輝度評価，日本色彩学会誌，査読無，Vo1. 36，Supp.，2012，pp. 44-45

〔学会発表〕（計 1 件）

① 酒井英樹，土井正，各種光源下における高輝度蓄光材の残光輝度評価，日本色彩学会第 43 回全国大会，2012 年 5 月 26 日，京都大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 英樹 (SAKAI HIDEKI)

大阪市立大学・大学院生活科学研究科・准教授

研究者番号：90277830

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者