



LED の密閉と VOC

目次

1. 概要.....	2
2. VOC について.....	2
3. VOC の対策.....	5
4. VOC 変色確認の試験方法.....	8
5. 現象事例.....	10
6. まとめ.....	11

本書内に記載する型番 NC2W170B、NFSW172 および NK4W093 は弊社製品の型番であり、商標権を有する可能性のある他社製品といかなる関連性・類似性を有するものではありません。

1. 概要

ヘッドライト、街路灯、投光器など屋外で使われる灯具では防水や防塵を目的として、灯具の密閉を行うことがあります。熱や光の影響によって LED の周辺にある灯具部材(周辺部材)から揮発成分が発生しアウトガスとなることがありますが、灯具内を密閉した環境で LED を使用するとアウトガスの濃度が高くなり、そのアウトガスの影響を受ける場合があります。アウトガスには、揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)などが含まれていることがあり、VOC の中には熱や光エネルギーを受けて反応し変色するものがあります。

図 1 は、VOC が変色する現象によって引き起こされたものであり、特に密閉環境など灯具内の LED 周辺の空気の循環が悪いとその影響が出やすい傾向がありますので、灯具設計において密閉環境とすることは注意が必要です。

本書では VOC が LED に与える影響やメカニズム、およびその対策について解説します。

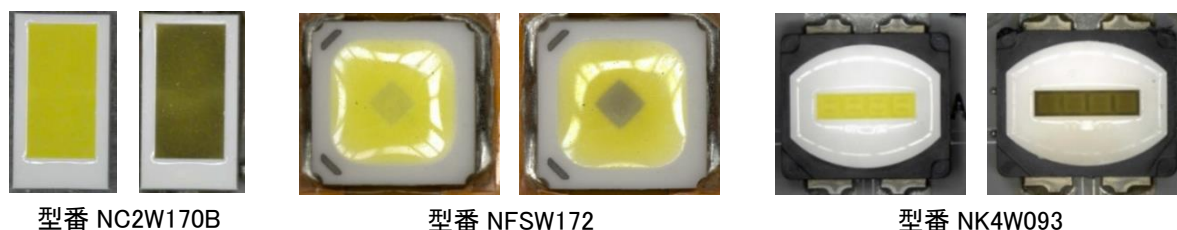


図 1. VOC による LED への影響(左:変色前、右:変色後)

2. VOC について

2.1 VOC とは

揮発(蒸発)しやすく大気中で気体になる有機化合物の総称です。一般的には、接着剤や塗料、洗浄剤などの有機溶剤に含まれます。また、筐体、パッキン、成形樹脂に含まれる添加剤などにも含まれており、固形部材においても VOC がアウトガスとして発生する場合があります。

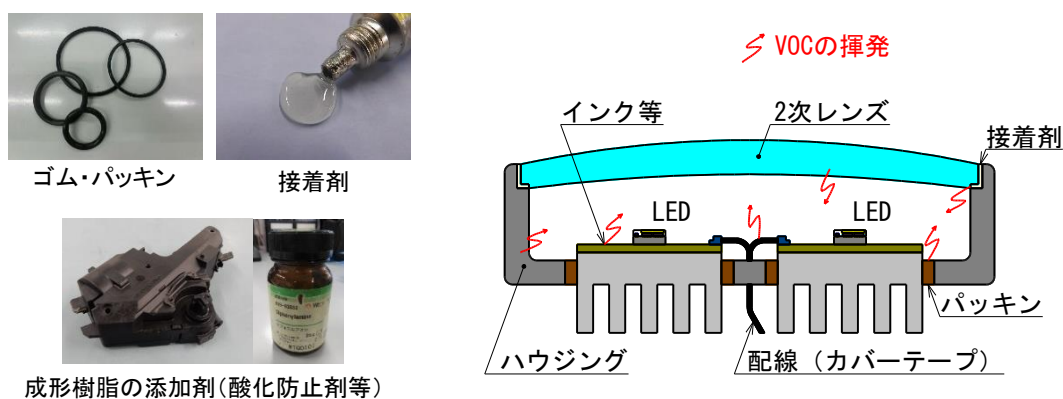


図 2. VOC が発生する可能性のある周辺部材の例

VOC は詳細には表 1 のように分類されますが、本書で表記する VOC はこれら全てを含めた意味で表現しています。

表 1. VOC 沸点と分類

略称	名称	沸点	化合物例
VVOC	Very Volatile Organic Compounds	50°C未満	アセトアルデヒド(C ₂ H ₄ O)、ジクロロメタン(CH ₂ Cl ₂)、メタン(CH ₄)、ホルムアルデヒド(CH ₂ O)など
VOC	Volatile Organic Compounds	50°C以上 260°C未満	エタノール(C ₂ H ₅ OH)、ベンゼン(C ₆ H ₆)、トルエン(C ₇ H ₈)、キシレン(C ₈ H ₁₀)など
SVOC	Semi Volatile Organic Compounds	260°C以上 400°C未満	ジフェニルアミン(C ₁₂ H ₁₁ N)、クロロピリホス(C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS)など
POM	Particulate Organic Matter	400°C以上	PCB(C ₁₂ H _{10-n} Cl _n)、ベンゾピレン(C ₂₀ H ₁₂)など

2.2 VOC が LED に与える影響

VOC が LED に影響を与えるのには、下記二つの理由があります。

- ・VOC は LED の内部に浸透し、滞留する。
- ・VOC が熱や光エネルギーを受けて変色する。

LED 自体が直接変質する現象ではありませんが、LED 内部に入り込んだ VOC が変化(変色)し、結果的に LED の性能に影響を与えます。

2.3 LED 内部への VOC の侵入および停滞

弊社の LED では使用用途や目的によって適した部材を使っており、LED の封止樹脂にはエポキシ樹脂やシリコン樹脂などを使用しています。

外気に暴露されるような屋外向けの用途に使用する LED ではガスバリア性や機械強度を重視してエポキシ樹脂を使用することが多いですが、灯具や電子機器内などで使われる LED では高温特性や長寿命化を重視してシリコン樹脂が多く使われています。

シリコン樹脂は、耐熱性、耐光化学反応性、耐水性に優れていますが、ガス透過性があるためアウトガスが LED 内部に侵入し易い一面を持っています。このため、周辺部材から揮発して気体となった VOC は、封止樹脂のシリコン樹脂を透過して LED 内部に侵入し滞留(吸着)します。

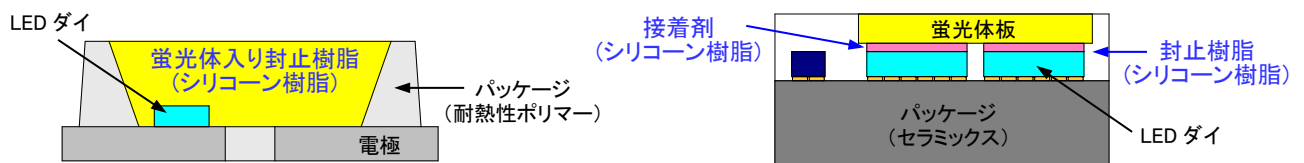


図 3. LED に使うシリコン樹脂の例

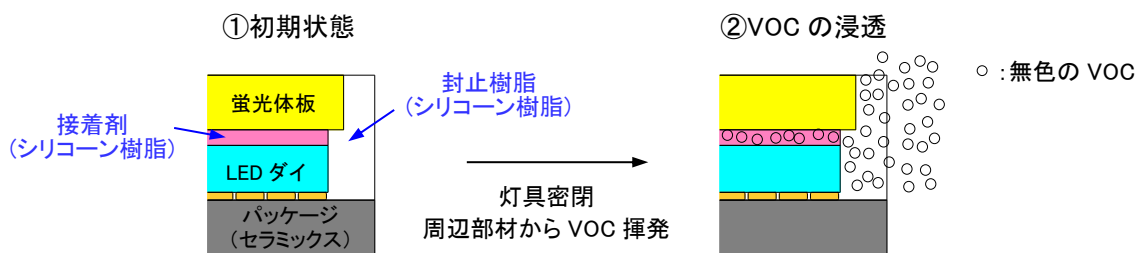
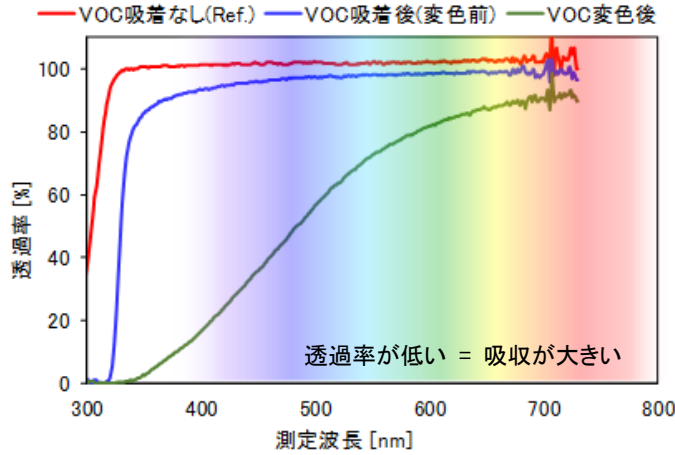


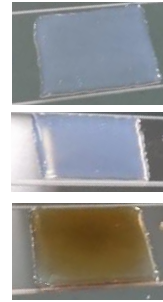
図 4. VOC 侵入のイメージ図

2.4 VOC の変色

VOCは光エネルギーを受けて光化学反応を起こし、結合状態(分子構造)が変化します。結合状態が変化することによって吸収スペクトルが変わります。多くの有機化合物は紫外域に吸収スペクトルを持ち色は無色ですが、結合状態の変化によって可視域で吸収スペクトルを持つようになると、有色な VOC となり透明度が低下します。



ガラス板にシリコン樹脂を塗布し
VOC を吸着させ状態変化を比較



- ①初期状態 (VOC 吸着なし)
- ②VOC 浸透 (変色前: VOC 吸着後)
- ③VOC 変色後 (光化学反応後)

図 5. VOC 吸着、変色による透過率の変化

結果として、シリコン樹脂内を浸透し LED の発光部近辺に VOC が滞留した際、LED から発する光エネルギーを強く受け VOC が変色し、LED の発光部が変色したような現象として現れ、LED の光束低下と色調の変化を引き起こします。

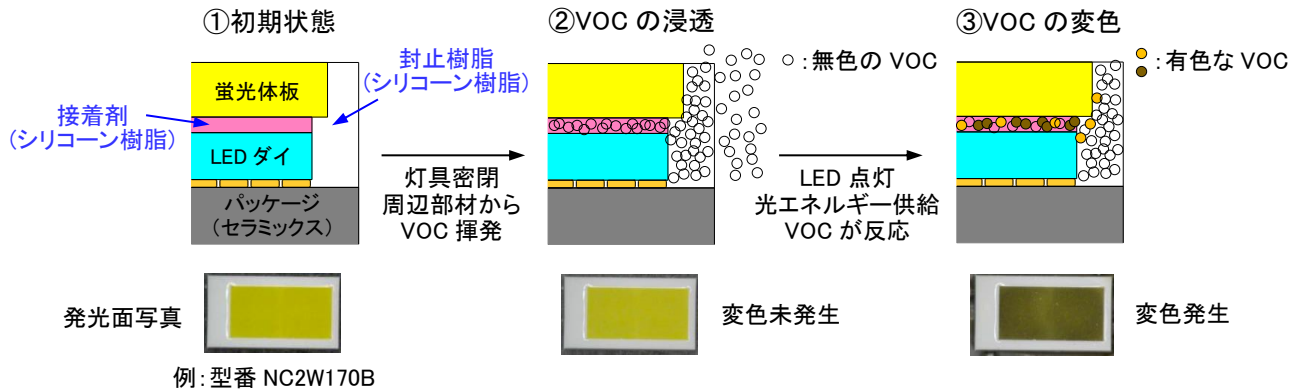


図 6. VOC 変色のイメージ図

3. VOC の対策

VOC の対策として、LED 周辺の VOC 濃度を下げることが有効です。

3.1 LED 周辺の空気の循環を良くする

灯具を完全に密閉せず LED 近傍に通気口(ベント)を設け、LED 周辺の空気の循環を良くすることが有効な対策となります。ベントは大きいほど空気の循環は良くなります。空気の循環を良くすることで LED 周辺の VOC 濃度が下がり、VOC 変色が起こりにくい環境となります。また、ベントを付けていても内部の空気の流れによっては、LED 周辺の VOC 濃度が下がらない場合もありますので、LED 近辺にベントを付けるとより高い対策効果が期待されます。

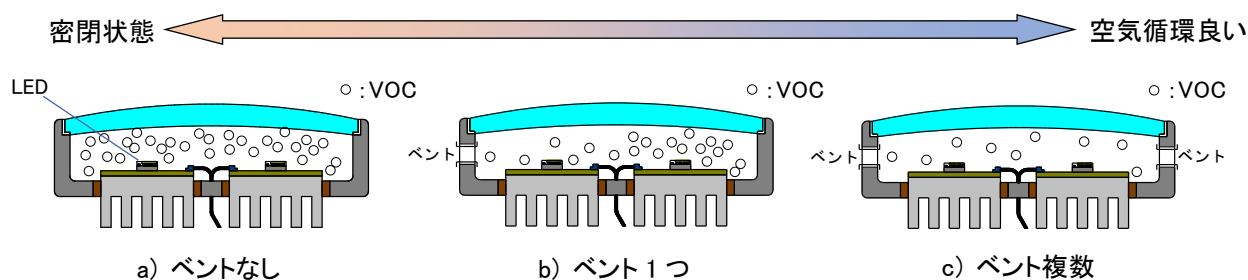


図 7. 対策例(ベントの設置)

3.2 灯具の容積を大きく取る

LED 周辺の VOC 濃度を下げするため、灯具内の容積は大きく取るほうが有効です。後述の図 13 でも示すように VOC の濃度が低いと VOC 変色の影響が出にくい傾向となります。

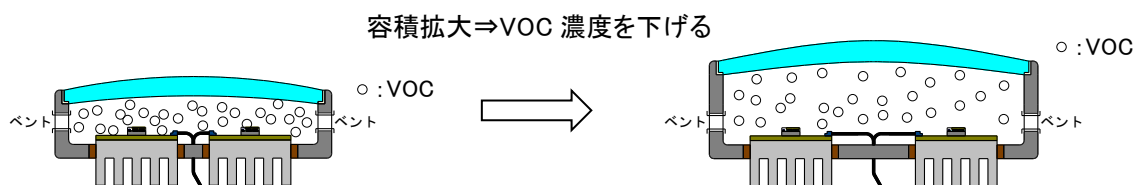


図 8. 対策例(灯具内容積拡大)

3.3 VOC 変色の影響が出やすい部材を避ける

LED の周辺に使う部材によって VOC 変色の影響が発生しやすいものがあります。

- ・ゴム材(合成、天然)
- ・テープの粘着剤、接着剤
- ・樹脂添加剤(酸化防止剤、難燃剤など)
- ・ケーブル絶縁被膜(シース)

成形樹脂に含まれる酸化防止剤や難燃剤が変色の原因となった事例もあり、固形部材においても注意が必要です。また、各部材の VOC 変色の影響度合いは、比較試験を行うことで確認することが可能です。4. VOC 変色確認の試験方法を参考にしてください。

表 2 から表 3 は弊社で VOC 変色の確認試験した物質の例です。VOC の変色は VOC 濃度によっても影響が変わるため、確認結果で「変色」が見られた物質が含まれている部材を使っても影響が出ない場合がありますが、リスクを減らすためにこれらの物質が含まれる部材を避けることをお奨めします。

なお、本書で影響のある部材の全てについて特定し提示することができておりません。これら以外の物質においても VOC のアウトガスが発生し、VOC 変色の影響が出る場合があります。部材の選定、変更などの際には VOC のアウトガスが発生しにくい材料で構成するなど部材の最適化を行って、LED の特性に影響がないことを確認したうえでご使用ください。また、下記はあくまで弊社での試験結果であり、物質の組み合わせ等で影響が出てくることもあり得ますので下記結果を保証するものではありません。

表 2. VOC 変色の確認物質リスト(樹脂添加剤)

物質名称	主な用途	分子式	化学構造式	沸点	確認結果
ジフェニルアミン Diphenylamine	酸化防止剤	C ₁₂ H ₁₁ N		302°C	変色発生
ノニルフェノール Nonylphenol	酸化防止剤	C ₁₅ H ₂₄ O		295°C	変色発生
ヘキサデカン hexadecane	滑剤	C ₁₆ H ₃₄	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CH ₃ 	287°C	変色発生
DOP Bis(2-ethylhexyl) phthalate	可塑剤	C ₂₄ H ₃₈ O ₄		385°C	影響現れず
DOA Bis(2-ethylhexyl) adipate	可塑剤	C ₂₂ H ₄₂ O ₄		335°C	影響現れず
オクタデシル 3-(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオナート Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate	酸化防止剤	C ₃₅ H ₆₂ O ₃		323°C	変色発生
ペンタエリスリトールテトラキス(3-(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオナート) Pentaerythritol tetrakis[3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate]	酸化防止剤	C ₇₃ H ₁₀₈ O ₁₂		779.1°C	影響現れず
ビス[3-(ドデシルチオ)プロピオン酸]2,2-ビス[[3-(ドデシルチオ)-1-オキソプロピルオキシ]メチル]-1,3-プロパンジイル 2,2-Bis[[3-(dodecylthio)-1-oxopropoxy]methyl]propane-1,3-diyl bis[3-(dodecylthio)propionate]	酸化防止剤	C ₆₅ H ₁₂₄ O ₈ S ₄		323°C	影響現れず
ナフタレン Naphtalene	染料中間物 合成樹脂原料	C ₁₀ H ₈		218°C	変色発生

表 3. VOC 変色の確認物質リスト(ゴム材)

物質名称	分類	化学構造式	確認結果
イソプレングム Isoprene rubber (IR)	合成ゴム	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \\ \text{H} \\ \\ \text{CH}_2 \end{array} \right]_n$	変色発生
ニトリルゴム Nitrile rubber (NBR)	合成ゴム	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{CN} \end{array} \right]_m \left[\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right]_n$	変色発生
クロロプレングム Chloroprene rubber (CR-70)	合成ゴム	$\left[\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2 \end{array} \right]_n$	変色発生
エチレンプロピレングム Ethylene propylene rubber (EPDM)	合成ゴム	$\left[\text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH} \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{Cyclopentane ring} \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH} \end{array} \right]_p$	変色発生
シリコンゴム Silicone rubber	ケイ素ゴム	$\text{CH}_3-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{O}-\left[\text{Si}(\text{CH}_3)_2 \right]_n-\text{O}-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_3$	影響現れず

4. VOC 変色確認の試験方法

VOC 変色の確認を行うにあたって完全な実使用環境を再現することは難しいため、下記例に挙げる試験は、お客様のシステムで VOC 変色が出ないかどうかを判断する試験とはなりません。あくまで VOC 変色の影響度合いが大きい小さいかを確認する試験となります。

試験方法の一例

LED: 型番 NC2W170B

試料片(VOC 発生確認部材): PP 60mg

ガラスドーム: 容積 0.9ml

接着剤: LOCTITE EA 0151

照度計: コニカミノルタ CL-70F

その他: PCB、ヒートシンク、DC 電源

周辺温度: 25°C、 I_f : 1000mA

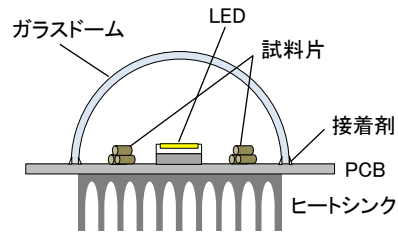


図 9. VOC 変色確認試験例

VOC 変色の有無を確認するため、VOC 濃度を一定に保てるよう密閉して試験を行います。密閉には VOC の発生しないガラスドームやガラスビーカを使用します。また、密閉に使用する接着剤や PCB は、あらかじめ試料片を入れずに接着剤や PCB から発生する VOC のアウトガスの影響がない部材であることを確認したうえで使用します。周囲温度が高くなると VOC のアウトガスが発生しやすくなるため、密閉封止に使用する接着剤においても温度条件によっては試験への影響がでる可能性があります。接着剤から微量な VOC のアウトガスが発生する可能性も考慮し、試料片を入れないリファレンスとの比較を行って影響度合いの差を確認します。

PCB に実装した LED とガラスドームを 2 組以上用意し、1 つは試料片を入れずリファレンスとし、もう一方に試料片を入れます。後述の図 13 のように VOC 濃度が高いほど影響が表れやすいため、実使用上の 10 倍以上の濃度(試料体積/ガラスドーム容積比や試料表面積/ガラスドーム容積比)で試験すると影響が確認しやすくなります。

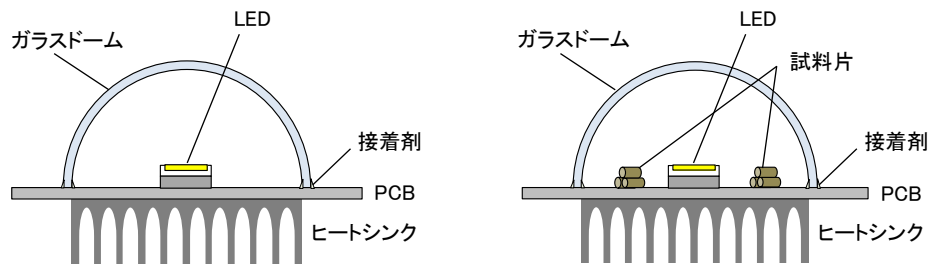


図 10. 試験方法の例(左:リファレンス、右:試料片)

接着剤はガラスドームと PCB の間に隙間がないように塗布します。あらかじめガラスドームの固定位置に接着剤を塗布し、ガラスドームを乗せた後ガラスドームを軽く押さえながら少しだけ回転させると隙間はなくなりやすくなります。隙間があった場合はヘラなどを使って隙間を埋めます。接着剤が完全に硬化するよう 24 時間程度放置したのち、点灯試験を開始します。

直上の固定位置で照度計を用い、初期状態の光強度（任意の照度）と色度を測定します。初期状態からの相対強度を測定できれば、照度計でなくても試験は可能です。また、光強度を測定するものがない場合は、試験片を入れないリファレンスと同じ時間だけ LED の点灯を行い、LED に現れる VOC の変色を目視で比較確認して影響の有無を判断します。目視で判断する場合は、強い光を直視しないよう必ず LED をオフにしてから発光面の観察を行ってください。

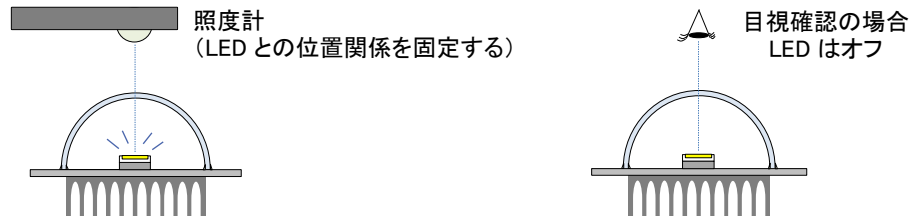


図 11. 光強度や変色の確認

VOC の変色は光エネルギーを受けたことで変色が進行するため、試験は連続点灯でも断続的な点灯でも点灯のトータル時間で判断します。濃度や VOC によっては影響の現れやすさが異なります。早ければ 10h 程度でも変色が確認されるものもあります。変色が見られた部材は VOC の影響が現れやすい部材となりますので、できるだけご使用を避けることをお勧めします。また、このような簡易試験では完全にお客様のご使用環境を再現することは難しいため、ベントなどの他の対策と併用してください。

表 4 に示した試験では試験時間を 500h と予定していましたが、結果として 60h で変色を確認できたため試験は 60h で終了としました。

表 4. 変色確認結果例

点灯時間	0h	10h	20h	40h	60h
部材 A (ポリプロピレン)					 変色
部材 B (ポリプロピレン)		 変色	 変色	 変色	 変色
リファレンス (試験片なし)					 影響現れず

5. 現象事例

5.1 VOC の変色による LED への影響

密閉環境や LED 周辺の空気の循環が悪い環境では VOC が LED 内部に浸透し、熱や光エネルギーにさらされることによって変色が起こり、LED 光出力の低下や色ずれが起こることがあります。また、一度変色が起こった場合でも、空気の循環を良くすることで、LED の光出力や色ずれが改善する傾向が見られます。

なお、密閉環境でも VOC などの変色に起因する成分がなければ、LED の光束や色調に影響はありません。

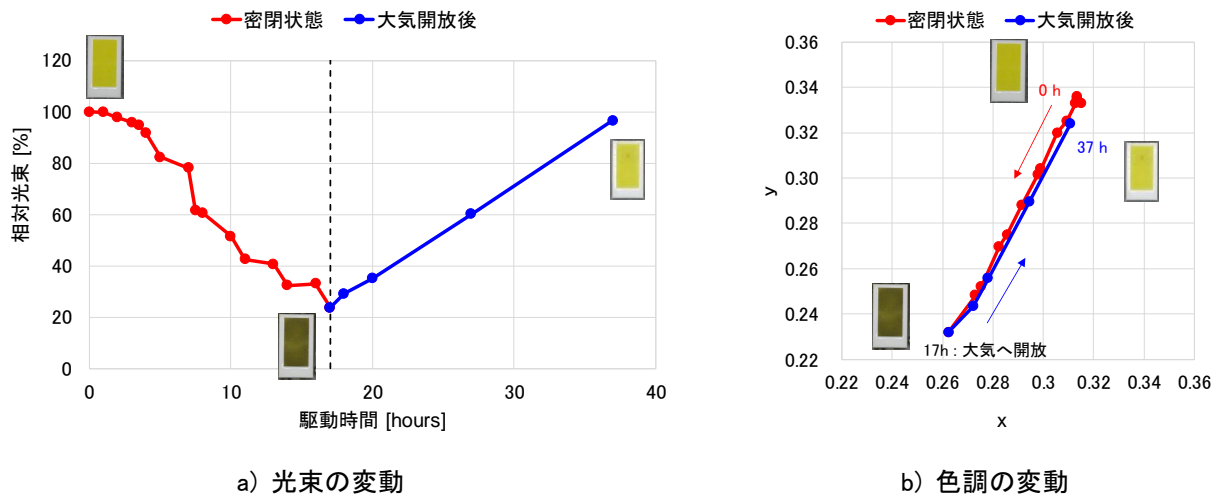


図 12. VOC 変色の発生と低減 (VOC 高濃度で加速検証)

図 12 は密閉状態で LED を駆動して変色を確認したのち、大気雰囲気駆動し変色の低減を確認したものです。検証時に密閉空間の VOC 濃度を高濃度にした加速評価であるため、変色の発生は数時間程度で確認されていますが、VOC の成分や濃度、光エネルギーの強度によって変色の発生時間は変わり、長時間(たとえば 100 時間以上)で変色を確認される場合もあります。

5.2 VOC 濃度による影響

図 13 は密閉環境下で変色の原因物質となる VOC 発生源(ジフェニルアミン)の充填量を変え、VOC 濃度による影響を確認したものです。VOC の濃度が高いと変色が起こりやすくなります。

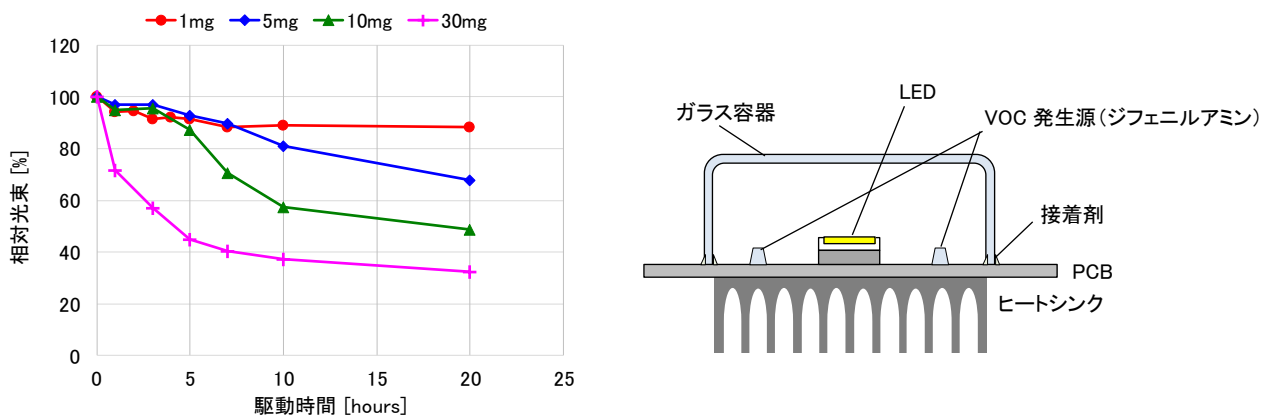


図 13. ジフェニルアミン充填量と光束低下 (密閉状態)

5.3 on/off の繰り返し

連続点灯し続けるよりも、on/off を交互に繰り返すことによって変色の進行が加速されます。

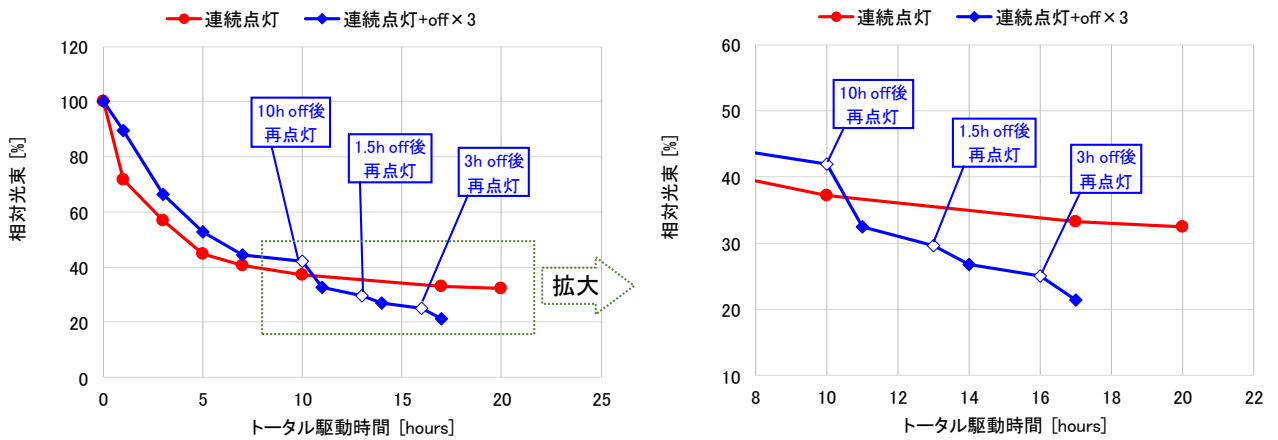


図 14. 連続点灯と on/off 繰り返しの比較

VOC がシリコン樹脂内に滞留(吸着)する力は高温状態よりも低温状態のほうが大きいため、一定以上の off 時間があると LED の温度(シリコン樹脂の温度)が下がり吸着が進み、連続点灯を継続するよりも LED 内の VOC 濃度が上がり変色の進行が加速されます。

6. まとめ

揮発性有機化合物(VOC)は LED の周辺にある様々な部材からアウトガスとして発生する可能性があります。LED 内部へ浸透し滞留した VOC は、熱や光エネルギーにより反応し変色することがあります。VOC の変色は LED の光束低下や色の変化を引き起こす原因となります。これは揮発する VOC の成分や濃度により影響度合いが異なる現象となります。

本現象は VOC 濃度が高いと変色が起こりやすい現象であるため、LED 周辺の空気の循環を良くすることが対策として有効です。灯具の設計の際には、LED 周辺の空気の循環を良くするための通気孔を設けるなどの対策を行うことを推奨します。もし、密閉してご使用になられる場合には本現象の影響確認も含めて LED の性能に問題がないことをご確認のうえご使用ください。

LED 周辺に使われる全ての部材・環境に対して VOC の発生や変色の影響について再現確認することは難しく、本書内にて影響のある部材の全てについて特定し提示することができておりません。部材の選定、変更などの際には本現象についてもご注意ください。

<免責事項>

本書は、弊社が管理し提供している参考技術文書です。
本書を利用される場合は、以下の注意点をお読みいただき、ご了承いただいたうえでご利用ください。

- ・本書は弊社が参考のために作成したものであり、弊社は、本書により何らの保証をも提供するものではありません。
- ・本書に記載されている情報は、製品の代表的動作および応用例を示したものであり、その使用に関して、弊社および第三者の知的財産権その他の権利の保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- ・本書に記載されている情報については正確を期すべく注意を払っておりますが、弊社は当該情報の完全性、正確性および有用性を一切保証するものではありません。また、当該情報を利用、使用、ダウンロードする等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、弊社は一切の責任を負いません。
- ・弊社は、本書の内容を事前あるいは事後の通知なく変更する場合がありますのでご了承ください。
- ・本書に記載されている情報等に関する著作権およびその他の権利は、弊社または弊社に利用を許諾した権利者に帰属します。弊社から事前の書面による承諾を得ることなく、本書の一部または全部をそのままあるいは改変して転載、複製等することはできません。

日亜化学工業株式会社

<http://www.nichia.co.jp>

774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地

Phone: 0884-22-2311 Fax: 0884-21-0148