

LED に及ぼす VOC 影響について

LED を使用したヘッドランプや投光器、街路灯などの屋外用照明では、防水・防塵のために灯具を密閉する構造が使われる場合があります。密閉空間では、LED 周辺の部品 例えば接着剤やコーティング剤等の有機化合物 からの揮発性有機化合物(以下 VOC)等のアウトガスにより、LED の光の強さが低下したりする原因になります。

本稿は、LED に及ぼす VOC 影響について理解を深めていただき、LED を利用した製品設計の際に有効活用していただくことを目的としたアプリケーションノートです。



図 1. ヘッドランプや投光器

1. VOC とは

VOC は揮発性有機化合物 (VOC: Volatile Organic Compounds) のことであり、常温・常圧で容易に揮発し、空気中に気体として存在する有機化合物の総称です。主に炭素を含む分子構造を持ち、塗料や接着剤のにおい、ガソリンの蒸気、印刷インキなど、私たちの身の回りに広く存在しています。VOC は分子量が比較的小さく揮発性が高いため、空気中に広がり易い性質があります。さらに、多くの VOC は有機溶媒としての性質を持ち、樹脂やプラスチックなどの高分子材料に浸透し易いという特徴があります。この浸透性は電子部品や光学部品の材料劣化や性能低下を引き起こす原因となる場合があります。

製品設計においてはその性質を十分に理解したうえで、発生源を抑える材料選定や構造設計が求められます。信頼性の高い製品を実現するためには、VOC の管理が重要な設計要素の一つとなります。

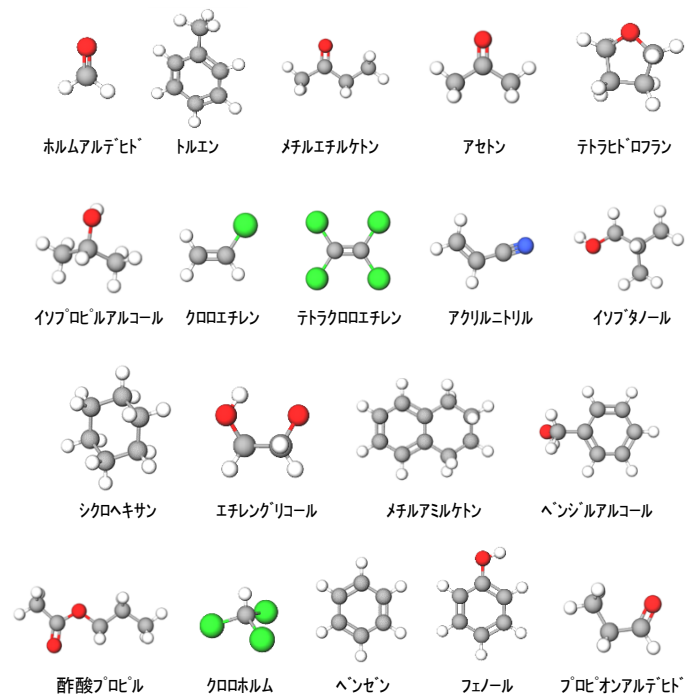


図 2. 身近な VOC 例

※VOC 物質は「環境省が示す主な VOC100 種」より抜粋

2. VOC による LED への影響

LED 製品において、光束の低下、色度の変化、さらには封止樹脂やレンズの変色といった現象は、VOC が原因となる場合があります。これらの現象は、見た目の品質だけでなく、製品の性能や寿命、さらには信頼性にも大きく影響します。

VOC 分子は揮発性が高いため空気中に広がり易く、密閉空間では濃度が高まり易くなります。こうした環境下では、VOC が LED のレンズや封止樹脂の表面に付着したり部品内部に浸透したりし、さらに化学反応を起こすことで、褐色や黄変などの色素が生成される場合もあり、これがレンズや発光面の変色として現れ、光学特性に直接的な影響を及ぼします(図 3)。

具体的には、光の透過率が低下し、光束が低下するほか、光のスペクトル分布が変化することで、色度のズレ

が生じることがあります。

これらの変化は、製品の外観品質を損なうだけでなく、長期的には LED の寿命を短縮させる原因となります。特に、照明器具や電子機器などで密閉された構造が採用されている場合、内部に滞留した VOC が長時間にわたって LED 部品に影響を与えるため、問題が顕著に現れる傾向があります。そのため VOC の影響を正しく理解し、設計段階での対策を講じることが、製品の信頼性確保において極めて重要です。

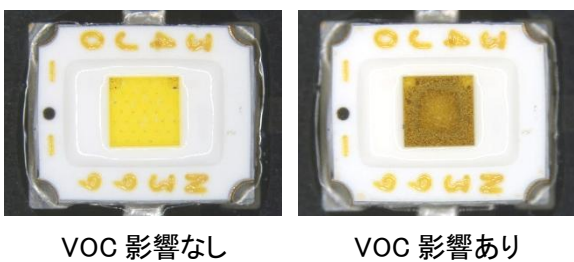


図 3. HCNW115AJTE を用いた VOC 影響の例

3. 変色のメカニズム

VOC による変色は、主に化学反応によって引き起こされます。図 4 で示す通り、封止樹脂を浸透した VOC が光と熱の影響を受けて酸化や分解が進み、化学結合の再構成により褐色の物質が生成されることがあります。

これらの物質は可視光吸収性により光を吸収・散乱する性質を持ち、結果として LED の光の透過率が低下し、光束や色度に悪影響を及ぼします。この変色現象は、基本的には可逆的なケースです。例えば、温度・湿度の変化や LED の発光によって褐色の物質が分解され、元の状態に近づくこともあります。

前述した LED の封止樹脂にはシリコン樹脂が使用されているものがあります。LED に影響を与える VOC は、例えばヘッドランプの場合は、その構成部品から揮発することで発生し、それがシリコン樹脂を介して LED 光源内部に侵入することで問題を引き起こします。

ここで注目すべきなのが、シリコン樹脂の種類によるガスバリア性の違いです。一般的に、フェニルシリコン樹脂はメチルシリコン樹脂に比べてガスバリア性が高く外部から VOC の侵入を抑制する効果があります。これにより、変色の発生リスクを低減できる可能性があります。

しかし、ガスバリア性が高いということは、内部に浸透した VOC が外部へ揮散しにくいという性質も持ち合わせています。そのため、もし VOC が樹脂内部に入り込んでしまった場合、変色が発生してしまうと回復が困難になるという側面もあります。これらの現象は VOC 濃度が高くなるほど発生し易いです。

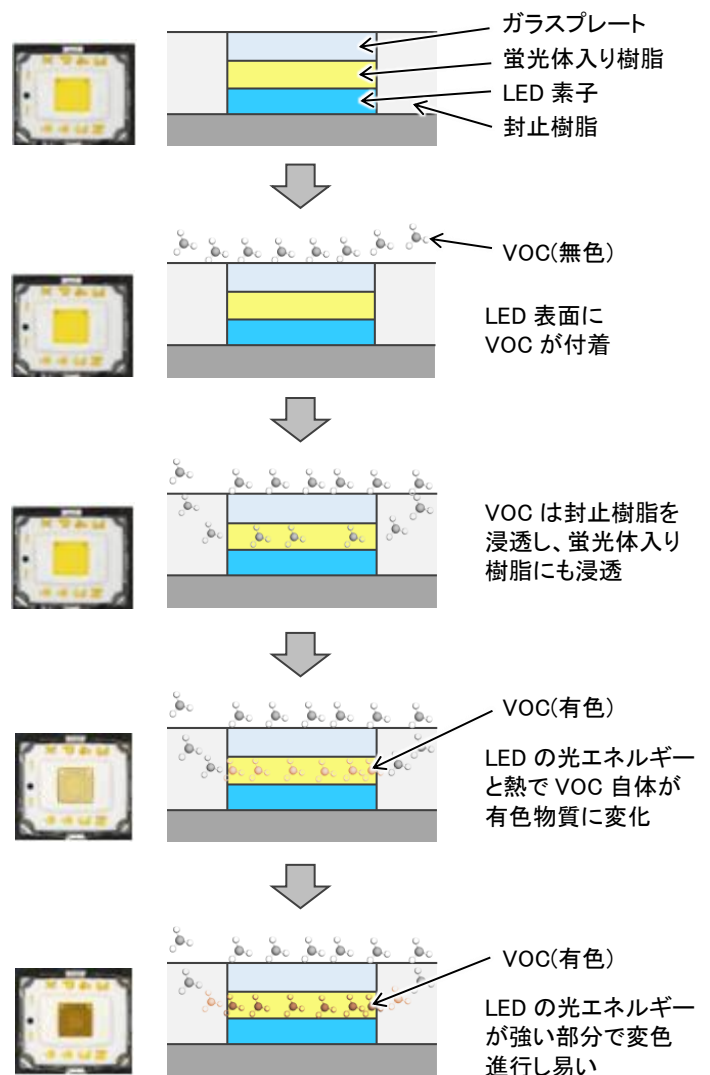


図 4. VOC による変色メカニズム

4. リスク原因と材料選定

ヘッドランプは日々進化し続けています。ヘッドランプの光源も白熱電球からハロゲンランプ、LEDへと変わってきています(図 5)。

こうした流れの中で、LED 光源や LED 光源を用いたヘッドランプユニット、さらにはそれらを構成部品に含む灯具には、接着剤、シリコンゴム製の Oリング、樹脂系コーティング剤、封止材などが使われ、それらが VOC 発生源の一つになります。

こうした材料は製造時や使用中に VOC を放出する可能性があり、密閉空間では滞留・蓄積し易くなります。

LED 製品においては、発生した VOC が光学部品に付着・浸透することで、変色や光学性能の劣化を引き起こすリスクが高まります。そのため、製品設計段階での材料選定は非常に重要なポイントとなります。具体的には、VOC の発生量が少ない、あるいは揮発性の低い材料を優先的に採用することが推奨されます。

材料選定にあたっては、化学適合性リストや VOC 評価資料をメーカーが提供している場合があります、それらを活用し対象材料が LED 部品との化学的相性に優れているか、長期的な安定性を持っているかを確認することが重要です。また、次章以降で示す通り、必要に応じて VOC 発生源を用いた変色試験と回復試験による評価を行うことで、より適切な材料選定ができます。

このように、VOC リスクを低減するためには、単なる性能やコストだけでなく、化学的安定性と環境適合性を重視した材料選定が不可欠となります。信頼性の高い LED 製品を実現するためには、VOC 対策を意識した設計プロセスを設計者や材料技術者が連携して行うことが求められます。

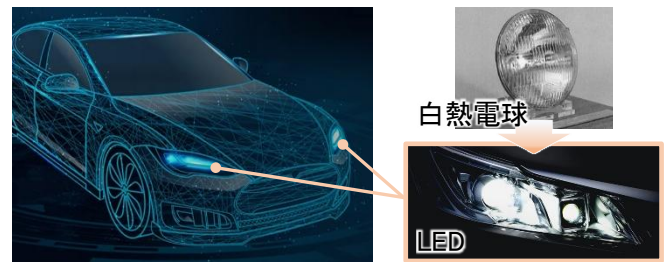


図 5. ヘッドランプの進化



図 6. LED 光源(左)
LED ヘッドランプユニット(右)

5. 設計上の対策

VOC の悪影響を防ぐため、LED 製品の設計段階でさまざまな対策を講じます。例えば、LED 灯具における VOC 対策として、灯具に通気孔を設けることで、灯具内部に滞留しがちな VOC を外部へ効率的に排出でき、VOC 濃度上昇による LED への悪影響を低減することが可能です。特に自然対流や熱対流を利用した空気の流れを設計に取り入れることで、VOC の拡散を促進し、局所的な蓄積を抑える効果が期待できます。また、灯具内部の空間を広く確保することで、発生した VOC の濃度を希釈することで影響を低減できることもあります。

これらの設計的な知恵と工夫は、LED 製品の安定した性能維持に寄与し、過酷な環境下においても高い品質を保つための重要な要素となります。

6. 試験手法と評価結果

VOC による変色評価では、実使用環境を完全に再現することは困難です。温度、湿度、光の条件、部品配置など、複雑な要素が絡み合うため、試験環境はあくまで限定的な条件下での検証となります。そのため、以下に示す試験は特定の製品で変色が起こるかを直接判断するものではなく、VOC の影響を受け易いかどうかを見極めるための参考評価となります。

〈試験手法〉

本試験は、LED 部品に対する VOC による変色の有無と、その影響の程度を確認することを目的としています。

比較対象として、VOC 発生源を含む試験体と含まない試験体を用意し、以下の 2 段階で構成された試験で経時変化による外観の変色状態および光束測定で出力変化と発光色の変化を評価しました。

1. 変色試験

試験体は、LED と VOC 発生源をガラス容器内に配置し密閉しました(図 7)。この試験体をホットプレートで加熱することで VOC を溶融しガスを発生させました。LED には定格電流を印加して点灯させ、発熱と LED 発光の影響が加わる環境を再現しています。

さらに試験を加速する目的で試験体を加熱しながら評価を行いました(図 8)。この時、安全に点灯させるために印加は回路基板冶具を介して行っています。

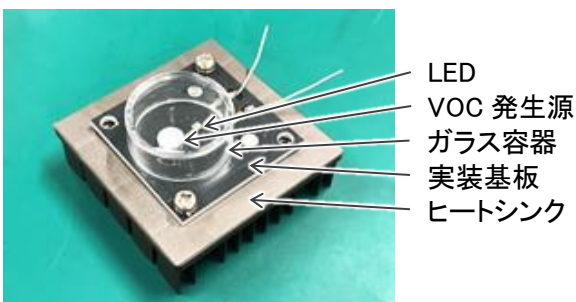


図 7. 試験体外観

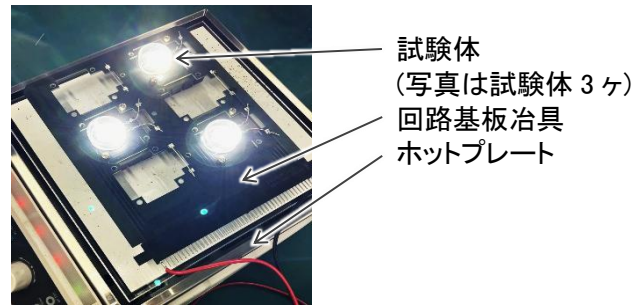


図 8. 変色試験外観

評価を行うにあたり、VOC 発生源はあらかじめ VOC の発生が確認されている化学物質を選定しました。これらの物質は、LED 灯具の構成部品に影響を与えにくい融点を持ち、取り扱いの安全性を考慮して常温で固体であるものを選定しました。具体的には、1-ナフトール、ビフェニル、2-ヒドロキシビフェニルなどが該当し、本試験ではこれらを VOC 発生源として使用しました。これにより、ガラス容器の中に十分な VOC ガスを発生させることで加速評価による試験を行うことができ、LED への VOC 影響を効率的に評価することが可能となりました。

2. 回復試験

変色試験後に密閉していたガラス容器を開放し、LED を周囲の空気十分にさらした状態で再点灯させることで、VOC が揮散することによる変色の回復傾向を評価する試験を実施しました(図 9)。これにより、変色が可逆的かどうか、また回復の程度を把握することが可能となります。

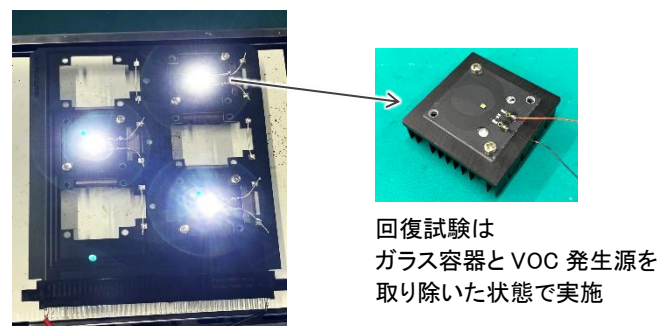


図 9. 回復試験外観

〈評価結果〉

VOC 変色および回復挙動の観察結果

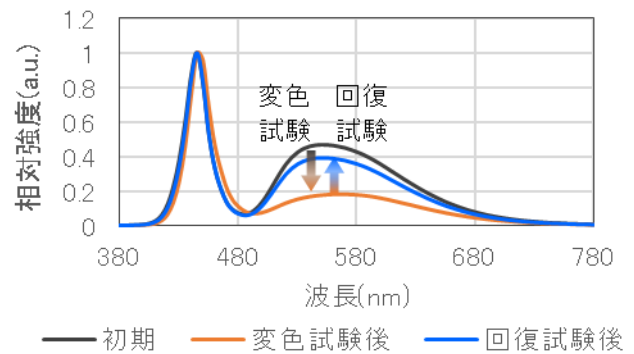
密閉環境下で実施した評価試験において、VOC 発生源を含まない条件では、LED の外観における変色や光束の低下といった劣化現象はほぼ確認されませんでした。一方で、VOC 発生源をガラス容器内部に配置した条件では、明確な外観の変色および光出力の低下が観察されました(図 10、グラフ 1)。

変色と回復の速度や影響度は VOC ガス濃度により変化するものの、本試験条件においては変色試験 5 時間後で相対光束 5%以下まで低下し、回復試験 10 時間後で光束は回復傾向があることを確認できました。

変色は LED の発光面に著しく現れており、これは密閉空間内に揮散・滞留した VOC が LED パッケージ内部へ浸透し、光や熱の影響を受けて化学変化を起こした結果、色素性の化合物が生成された可能性が高いと推察されます。

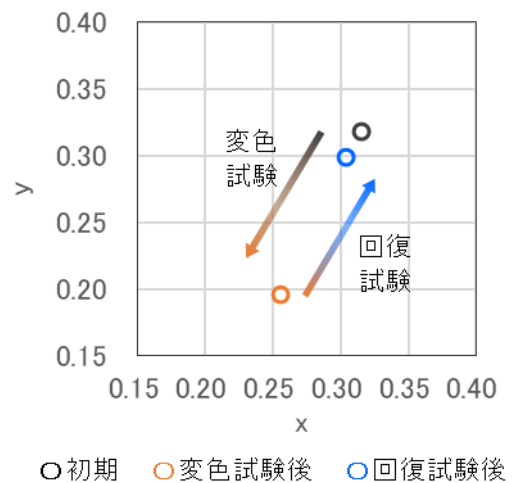


図 10. VOC 発生源有無による発光外観差



グラフ 2. VOC 試験での発光スペクトル変化

※青色発光波長で正規化

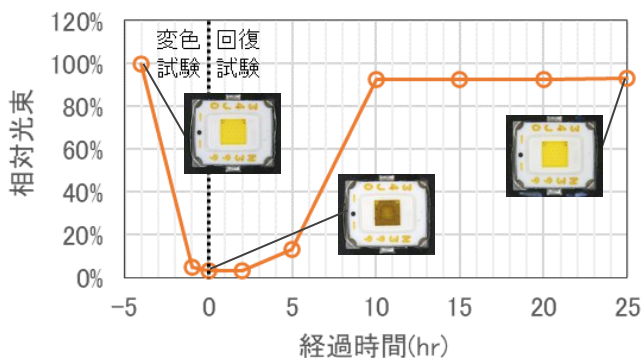


グラフ 3. VOC 試験での色度変化

VOC による変色影響を受けた場合、青色が強い発光色となります。発光スペクトルや色度変化からも青色発光へシフトしていることがわかります(グラフ 2、グラフ 3)。

これは、熱や光の影響で VOC の共役二重結合が増加することで電子が動き易くなり、その結果、低エネルギーでも変色反応が進み易くなると考えます。その結果、長波長側の光の吸収も増え、結果的に青色が強く見えたと推測されます。

これらのことから、変色は VOC 由来の生成物によるものがほとんどであり、材料自体の劣化影響は少ないことが示唆されます。さらに、回復挙動の確認を目的とした試験では、変色したサンプルを密閉状態から開放し、



グラフ 1. VOC 試験での光束変化

※回復試験開始を 0hr としています

外気に十分さらした状態で点灯を継続したところ、時間の経過とともに変色の程度が軽減し、光束も回復する傾向が確認されました。この回復現象は、VOC 由来の変色物質が空気中の酸素との反応や自然揮散によって、分解または除去されたことによるものと考えられます。

以上の結果から、LED 灯具における VOC の影響は、主に外部から侵入した VOC が光や熱により変質し、可視的な変色や性能低下を引き起こすことに起因しており、適切な換気設計や部品選定によってその影響を低減できる可能性が示されました。

7. まとめ

VOC は揮発性の有機化合物であり、LED 周辺の部品から揮発して密閉空間に蓄積し易い特徴があります。VOC が LED のレンズや封止樹脂の表面に付着したり浸透したりし、熱や光の影響で化学反応を起こすと、変色により光学特性の劣化が生じます。これが LED の性能低下や寿命短縮の原因となります。

設計者は VOC の性質を理解し、材料選定においては、化学適合性リストや VOC 評価資料を活用し、LED 部品との相性や長期安定性を確認することが重要です。

また、製品設計においては、通気孔の設置や内部空間の確保などにより、VOC の影響を抑えることが可能です。

VOC の適切な管理が、高性能かつ長寿命の LED 製品を実現する鍵の一つとなります。

<免責事項>

本資料は、弊社が作成・提供する技術的な参考情報です。ご利用にあたっては、以下の内容をご確認のうえ、ご理解いただいた上でご活用ください。

- ・本資料は参考情報として作成されたものであり、記載内容に関して弊社がいかなる保証を行うものではありません。
- ・掲載情報は、製品の一般的な動作例や応用事例を示すものであり、これらの利用に関して、弊社または第三者の知的財産権等の権利を保証するものではなく、また実施権の付与を意味するものでもありません。
- ・内容の作成には細心の注意を払っておりますが、情報の正確性・有用性については保証いたしかねます。また、資料の利用・閲覧・ダウンロード等に起因するいかなる損害についても、弊社は責任を負いません。
- ・本資料の内容は、予告なく変更・更新される場合がありますので、あらかじめご了承ください。
- ・本資料に含まれる文章・図表・データ等の全部または一部を複製・改変・転載することはできません。