

蛍光センサーによる  
UV 硬化樹脂評価技術読本

財団法人 大阪科学技術センター

ATAC 会員 長岡 由起

2010 年 2 月 18 日

## 目次

1.	はじめに	・・・2
2.	蛍光とは	・・・3
3.	UV 硬化樹脂と蛍光の関係	・・・4
4.	蛍光センサーの原理と構造	・・・7
5.	蛍光センサーによる UV 硬化評価の例	
	1.固定用 UV 接着剤	・・・12
	2.薄膜系 UV 硬化樹脂	・・・18
	3.UV 塗料	・・・19
6.	より研究者のために	・・・21
7.	その他の蛍光によるセンシング評価	・・・21
8.	まとめ	

# 1. はじめに

UV 硬化樹脂が完全に硬化したかどうか、皆さんはどのように評価されているのだろうか？ 近年、UV 硬化樹脂は、その作業性の簡便さからいたるところに応用され用いられている。その結果、UV 照射による硬化が不完全なまま出荷され、市場で問題を起こしている例も少なからずあった。私が知っているデバイス部品でも、多くの UV 硬化接着剤が使用されているが、そのデバイスの市場でのクレーム要因の第1位か2位は、UV 硬化接着剤の不具合によるものである。

UV 硬化樹脂によらず、接着剤が硬化したかどうかを確認するためには、接着強度検査、硬度検査といずれも抜き取りによる破壊検査、若しくは破壊しないまでもの力で押してみるなどの手法も取られているが完璧とはいえないであろう。もしも化学的に明確に反応が終了したことを知りたいのであれば、FTIR などの装置による化合物の組成を確認する方法もあるが、日常の生産ラインで、高価な装置を置き、習熟した専任者を置いて確認するなど、通常その様な“しちめんど臭い”ことが行われることはない。

株式会社センテックでは、UV 硬化樹脂が硬化後に蛍光物質になることを発見し、樹脂が発する蛍光量で硬化度合いを評価する蛍光センサーを開発した。その原理は非常に高度な専門技術によるもので、すべてを理解することは専門外の一般人には難しい。しかしながら、開発された手法は画期的で、蛍光センサーを使うことの利便性は計り知れない。

本冊子では、できるだけ専門用語を使わずに平易な言葉で、蛍光による UV 硬化樹脂の評価技術について論じたいと思う。私の稚拙な知識で取り組むため、認識不足や、不適切な表現があるかも知れないことをあらかじめご容赦下さい。

長岡 由起

## 2. 蛍光とは

蛍光センサーを使用した評価技術を論じる前に、その背景知識として、蛍光そのもの及び、蛍光センサーの原理について述べたいと思う。決して専門的な学術論文ではないので、既に蛍光や蛍光センサーの原理について既知の方は2章～4章は読み飛ばして下さい。

蛍光という言葉について、読んで字のごとく、さほど聞きなれない言葉ではない。この言葉を聞いたからと言って難解な現象を表わす言葉として身構えることもないだろう。「蛍光灯」、「蛍光ペン」、「蛍光塗料」、「蛍光増白剤」と身の回りの日用品の中にもよく見られる言葉である。しかし蛍光という言葉を厳密に物理現象として説明すると、分子軌道のポテンシャルエネルギーなどと量子物理学・量子化学にまで踏み込まなければならない。そのような詳細は他専門書に任せることとし、本書では表面的な現象の説明だけに踏みとどめたい。

蛍光の意味については「蛍光灯」よりも「蛍光ペン」や「蛍光塗料」からイメージされるように、蛍光とは、光などが当たることによって受けたエネルギーを物質内部からの別の光として放出する現象のことを言う。この性質を持つ物質のことを蛍光物質と呼び、蛍光を放出させる引き金となる外部からの光を励起光と呼ぶ。「蛍光灯」も蛍光管の中に塗布された蛍光物質に、水銀原子から放出される紫外線があたることによって光を放出し、蛍光管全体が光っているように見えるのである。

少し専門的な表現になるが、株式会社センテック 中宗氏の資料より模式図を下図に示す。

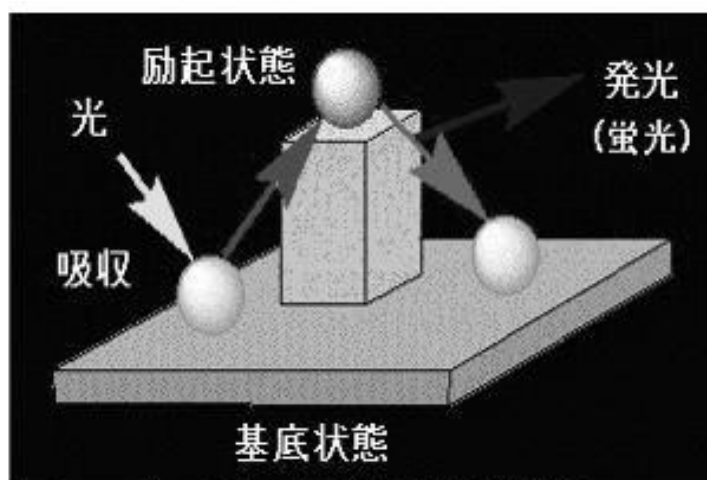


図2-1. 光の吸収による励起と発光(蛍光)

エネルギーが低い状態（基底状態）の蛍光物質に励起光という光を照射すると、その光エネルギーを吸収した物質は、エネルギーが高い状態になる（励起状態）。物質は通常エネルギーが低い状態で安定するため、エネルギーが高い状態になった蛍光物質は光（蛍光）を放出することによって元のエネルギーが低い状態（基底状態）に戻ろうとする。この現象を蛍光（ルミネッセンス）と呼ぶ。但し、蛍光物質が光を受けてからそのエネルギーを蛍光として放出しきるまでの時間は  $10^{-7} \sim 10^{-10}$  秒と非常に短く、蛍光センサーでの評価においては、励起光を当てている間だけ同時に蛍光を発していると考えてよい。（比較的長い時間放出する“りん光”についてはここでは触れないでおく）

これから説明する UV 硬化樹脂において、UV（紫外線）という光エネルギーを受けた物質は、そのエネルギーを化学反応に使用し、さらに熱として放出する。そしてもう一つのエネルギー放出手段として“蛍光”という光として放出し、基底状態に戻るのである。その特性を見出したところから、本書のテーマである「蛍光センサーによる UV 硬化樹脂評価技術」が始まる。

### 3. UV 硬化樹脂と蛍光の関係

では、なぜ UV 硬化樹脂の硬化度合いが蛍光量で測定できるかの説明に入りたい。ここでまた、UV 硬化樹脂の化学反応の説明をしようとする、高分子化学の専門知識が必要となり、専門知識の無い人間には馴染みがないモノマー、ポリマー、ラジカル重合などの言葉が登場してくる。筆者は専門外なので、ただ蛍光センサーを使う時におおよそ理解していれば良いという感覚で、それら専門分野の言葉を平べったく伸ばして丸めて、“だいたいの全体像とはこんな感じ？”という表現を行う。厳密に学びたい方には申し訳ないが、ちゃんとした別の専門書で理解を深めて下さい。

UV 硬化樹脂にも色々と種類があるが、今回はその中でも代表的なラジカル反応と呼ばれるものについて説明する。蛍光センサーでの評価がラジカル反応の樹脂に限られるかという決してそうではないし、ラジカル反応の樹脂が全て蛍光センサーで評価できるかと言えばそれも正しくはない。現在までに判っていることは、ラジカル反応の多くの UV 硬化樹脂で蛍光での硬化度評価が可能であるということだ。そのラジカル反応の樹脂を標準として話を進めることをお許し願いたい。

反応前の UV 硬化樹脂を非常に単純化した模式図で書くと図 3-1 のように、樹脂の骨格をなす主剤、まだ硬化前で分子量が液状のオリゴマーとかモノマーと呼ばれる成分と、光重合開始剤と呼ばれる成分が含まれている。



図 3-1 UV 硬化樹脂の構成

この光重合開始剤は光を吸収（反応）しやすい性質を持っており、UV 光を照射すると、定められた過程を踏んで、ラジカルという非常に不安定な反応しやすい状態になる。



図 3-2 ラジカル化して結合する

非常に反応しやすくなった（ラジカルになった）光重合開始剤は即座にすぐ近くにある主剤（オリゴマーやモノマー）を引き寄せ、結合する。すると今度はそのラジカルの開始剤と結合したオリゴマー・モノマーがラジカル状態に変化するのである。

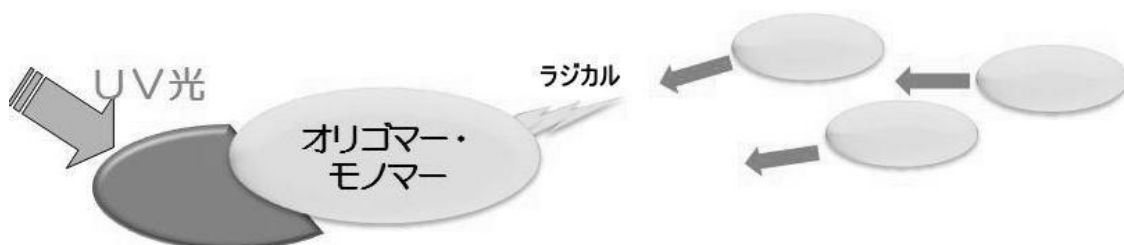


図 3-3 ラジカルは連鎖する

そしてまた近くにある他の主剤（オリゴマーやモノマー）を引き寄せ結合し、今度は新たに引き寄せられた主剤（オリゴマーやモノマー）が非常に反応しやすいラジカルに変化する。このくっついてはラジカルになり、くっついてはラジカルになるという反応はどんどん連鎖して進み、やがて小さな分子だったオリゴマー・モノマーは互いに結合し大きな分子の高分子ポリマーの固体に変化する。これを UV 硬化樹脂が硬化したと言い、重合と呼ばれる反応である。

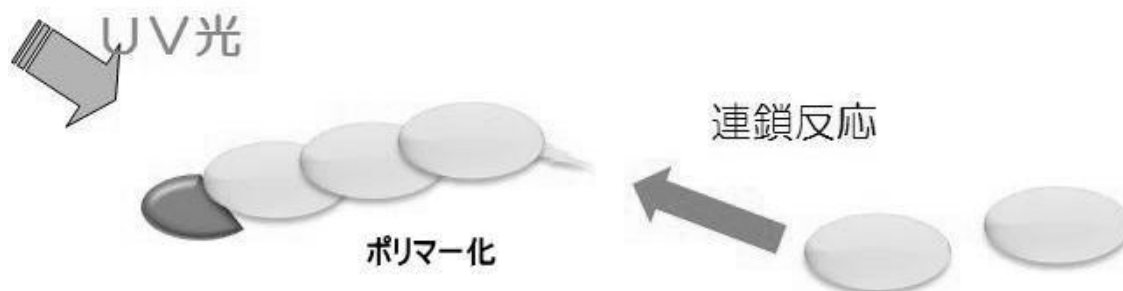


図 3-4 重合

この硬化した後のポリマーの先頭にはかつて光重合開始剤だった物質がとりついており、非常に光エネルギーを吸収しやすいその性質は、硬化後も受け継がれている。重合反応が進んでいる間、また物質が安定した状態でない場合は、受け取ったエネルギーを物質の中で色々使い道があった。しかし反応が終了し物質が安定した状態になった硬化後、光エネルギーを受け取ったものの、もう使い道がなくなってしまっている。しかたがないので、受け取った光エネルギーを蛍光というエネルギーに変えて放出するのである。つまり蛍光物質に変化するのである。

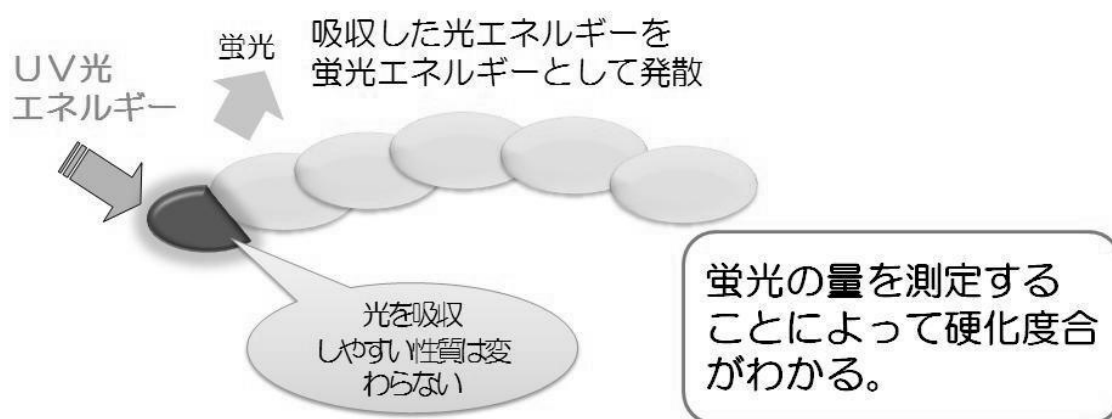


図 3-5 蛍光物質に変化する

これを利用し、物質が蛍光物質に変化している度合いを、蛍光量で測定することにより、物質が硬化した度合いを評価することができるのである。

## 4. 蛍光センサーの原理と構造

株式会社センテックの蛍光センサーは右図 4-1 に示すように実験機の卓上で十分実験を行うことができる規模の装置で、センサー部とコントローラー部で成り立っている。

写真の機種 OL201 は高感度品と謳われているが、光量調整つまみがセンサー側に、感度調整つまみがセンサー部、コントローラー側の両方についており、最も汎用性が高い機種と言える。

OL201 の励起光の波長は、365nm で他のラインナップ（表 4-1）として、310nm、280nm の機種もあり、被測定物の吸収波長帯を選ぶのが望ましい。現時点では 365nm が最も一般的であると言える。



(OL201) 図 4-1

### UV硬化センサー ラインナップ

品番	バージョン	寸法(mm)	スポット径(mm)	製品説明	用途例
OL301	標準タイプ (波長365nm)	W35 × D50 × H120	φ1	●センテック 標準タイプ	●UV硬化樹脂
OL201	高感度タイプ (波長365nm)	W50 × D75 × H125	φ1	●OL301より感度の調整範囲が広く、蛍光量の少ないものから多いものまで幅広い測定に適しています。 ●UV投光量の調整ができます。	●UV硬化樹脂
OL251	高感度・高出力タイプ (波長365nm)	W50 × D75 × H125	φ2	●OL201よりUVの投光量を上げたタイプで、蛍光量の少ない被検体の測定に適しています。	●UV硬化樹脂 ●油検出 ●微量化合物検出
OL202	高感度・スポット径φ0.5タイプ (波長365nm)	W50 × D75 × H125	φ0.5	●OL201よりUV投光のスポット径を小さくしたタイプで、小さな被検体の測定に適しています。	●光ピックアップ等 ●小型部品の接着部位
OL221	高感度タイプ (波長280nm)	W50 × D75 × H125	φ1	●UVの波長が違うタイプで、365nm以外の波長によく反応する被検体の測定に適しています。	●UV硬化樹脂
OL211	高感度タイプ (波長310nm)	W50 × D75 × H125	φ1	●現在280nmと310nmがあります。	

表4-1. (株)センテック 蛍光センサーラインナップ



図 4-2 に蛍光センサー部の構造図を示す。図センサー部本体の右側の紫外線 LED (UV-LED) から励起光を出射し、ミラーで折り曲げて被測定物に照射する。励起光を受けた被測定物から図のように全方向にじわっと蛍光が出ると、その蛍光の一部がセンサー内部の受光センサーに到達し、蛍光量を測定することができる。

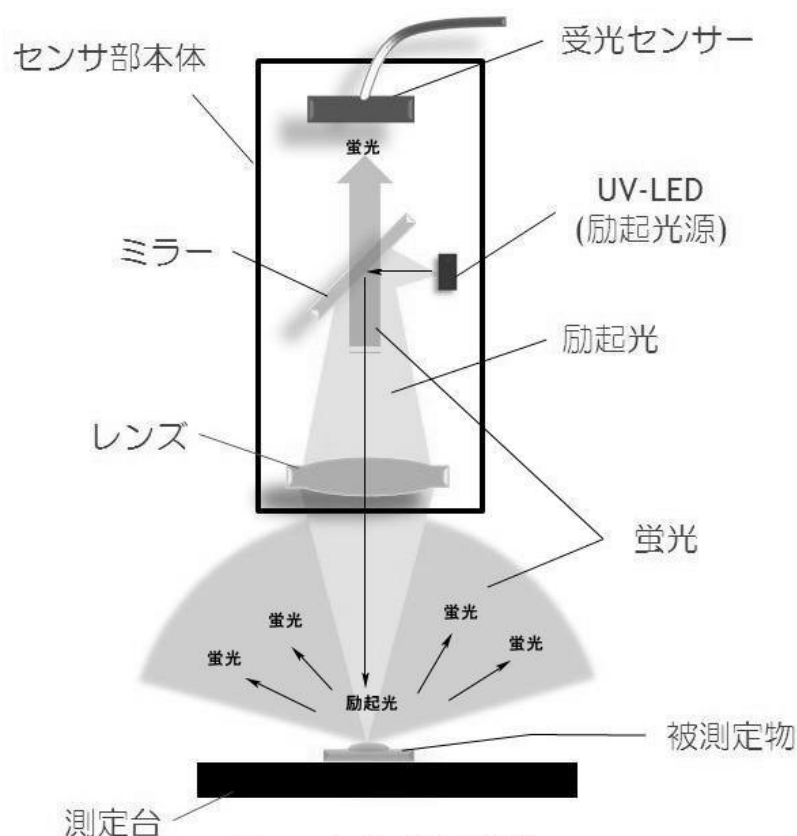


図4-2. センサー部内部構造

測定は非常に簡単で、測定試料を、励起光のスポットの焦点が合うように測定台の上に置くだけである。スポット径は $\phi 0.5 \sim 2$  mm (表 4-1 参照) である。

励起光は紫外線で目に見えない光だが、図 4-3 のように白い紙片などをあてがえば、容易にスポット位置と大きさを目視<sup>\*</sup>で確認することができる。(白い紙には大量の蛍光剤が使用されているため)

<sup>\*</sup>必ず保護眼鏡をご使用下さい。



図 4-3 励起光スポットのようす

また、励起光に変調光を用いているため、通常に実験室環境の照明である蛍光灯などの影響を受けずに測定が可能で、暗室などの特別な環境は不要である。(但し、卓上蛍光灯などを近づけすぎないことをお勧めする)

さらに、UV-LEDのUV硬化装置であれば、硬化中であっても硬化過程での蛍光量の変化を測定することが可能である。

写真の蛍光センサーは実験室用スタンドに取り付けられているが、当然スタンドから外せば、工程ライン上や、ロボットに取り付け自由な場所角度でデータを収集することが可能である。

以上のように、センテック 蛍光センサーは従来非常に観察が困難であったUV硬化樹脂の硬化過程における内部組成の変化を蛍光という現象を仲介させ、いとも容易く観察することを可能とした装置である。

但し、この装置を利用するにあたって理解しておかなければならないことがある。一つは、蛍光センサーは蛍光量を測定しているのものであって、直接物質の変化分析を行っているのではない。測定したい物質が反応するにつれ、どのように蛍光物質が変わるのか、もしくは蛍光物質ではなくなるのか、その蛍光の強さは正常の場合どの程度なのか、どの程度蛍光量が増減し、どのような蛍光量の状態になったら、その化学変化は正常に終了したと言えるのか？は、測定者が測定すべき現象と蛍光センサーの値を逐一観察して精査する必要がある。

蛍光量測定だけで“OK”“NG”と判断できるレベルになるためには、測定者によるデータの積み重ねと蛍光量と測定物との関係を理解することが必要になる。それらをいったん理解して解析してしまえば、この装置はその利便性において目からウロコのような画期的価値を提供することができる。

図 4-4 に、UV 接着剤が硬化する経過を、蛍光センサーで測定しているグラフを示す。UV 硬化樹脂の UV 照射による硬度の変化は、カタログ値から照度及び時間で割り出して曲線化した。その上に蛍光量の変化の実測値グラフを重ね合わせたものである。このグラフを検証するにあたって、決して誤解してはならないことがある。

左縦軸の硬度の目盛最大値 50 が、右縦軸蛍光量の目盛最大値 4.0 と絶対的に適応するのではないことだ。

◆測定例      …… UV硬化中の硬度と蛍光量の変化  
 (硬度 ■：カタログ値、蛍光量 ◆：実測値)

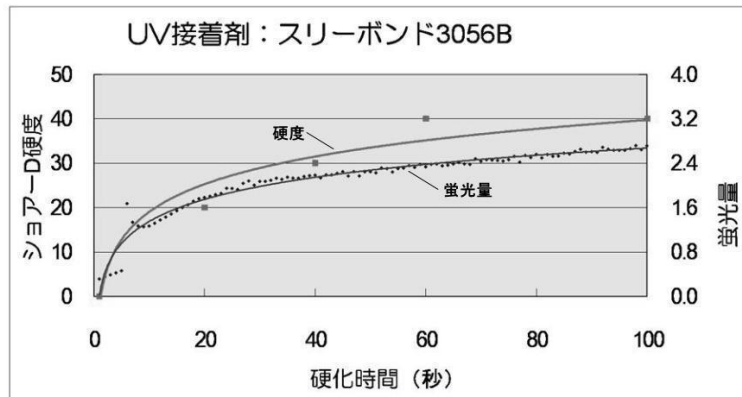


図 4.4 UV 硬化樹脂の硬度変化と蛍光量変化

蛍光量と硬度（硬化度合い）の相関を確認するときに見るべきものはまずはその変化過程でのグラフの形である。硬化反応が終了していくにあたって、蛍光量のグラフがどのように変化していくかを観察することが肝要である。図 4-4 のスリーボンド 3056B は、見事に硬度の変化と、蛍光量の変化のカーブが一致した。互いの縦軸を適当に調整することによって、図のように重なり一致したグラフが得られたのである。

多くの接着剤でこのような傾向が見られるが、すべての接着剤がこういう訳ではない。例えば、図 4-5 ケミテックの U-1582 や、図 4-6 U-406B では、少し特徴的なカーブを示す。

(硬度 ■：カタログ値、蛍光量 ◆：実測値)

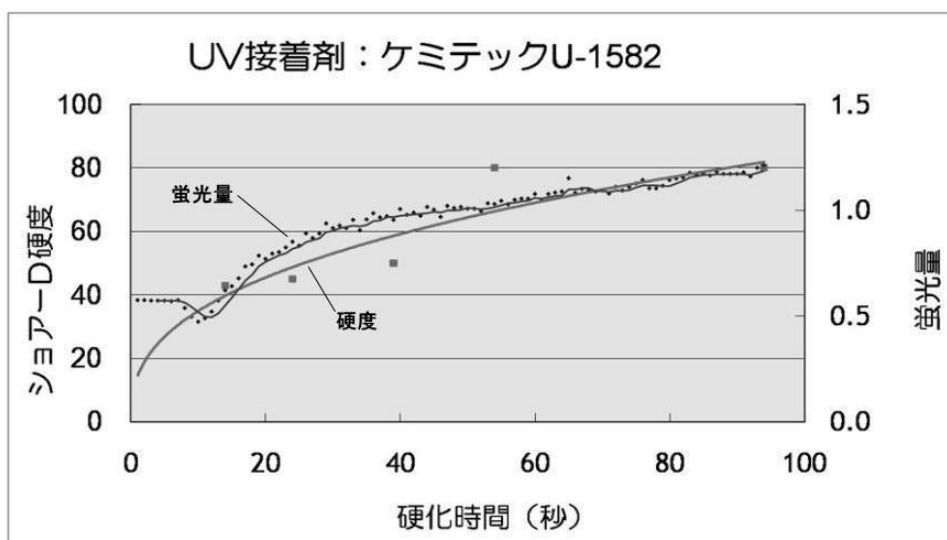


図4-5 その他のUV硬化樹脂の例(1)

(硬度 ■ : カタログ値、蛍光量 ◆ : 実測値)

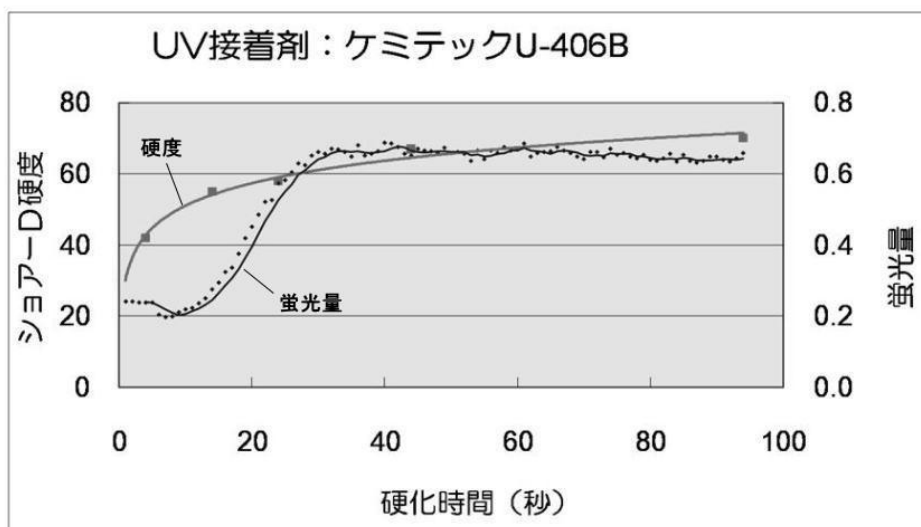


図4-6 その他のUV硬化樹脂の例(2)

硬度と蛍光量のグラフの形が違えば、使い物にならないであろうか？ 決してそうではないはずである。要は測定者が何を測定したいかにかかっている。例えば、ケミテック U-1582 の初期の硬化が始まる立ち上がりの瞬間を蛍光で観測したいのであれば、筆者はこのグラフから得られる蛍光の観測では不適切だと判断してしまうと思う。しかし、硬化が完了したか否か？であればどうか？図4-5でも図4-6でも蛍光量から硬化が完了しているかを判断することは容易であると思われる。

このように、測定したい内容と蛍光量の変化との相関関係を把握することによって、蛍光センサーの利用価値が現れるのである。

#### 注意すべこと

1. 蛍光量は絶対値ではない
2. まずは蛍光量変化の推移を把握すること
3. 掴みたい事象との相関関係のデータを積み上げること

温度管理・試料の量の管理もデータ収集条件の一端を担う。

では、具体的にどのようなところで活用できるか、次の章で例をあげてみたい。

## 5. 蛍光センサーによる UV 硬化評価の例

### 1. 固定用 UV 接着

接着剤が硬化する条件として大きく分けて、①容器から取り出して塗布すると自然に固まるもの、②2種以上の材料を混合することによって反応させるもの、③熱で反応させるものと、④UV光を照射して反応させるものなどがある。①は容器から取り出すと即座に反応が始まるのでまだ接着作業が終了していない作業容器の中で固まってしまったりする。②は混合比を厳密に管理し、また混ざり残りが無いよう念入りに混合作業を行う必要がある。③は熱に弱い材料の接着に向かないし、高温炉に投入する工数が増大する。それに対して④の UV 硬化接着剤は UV を照射したタイミングから急速に硬化を開始するため、ハンドリング、工数に多大なメリットがある。以前は光学部品の接着など使用される箇所が限られていたが、各接着剤メーカーの大きな努力により信頼性を確保し、多種多様な接着剤が開発されあらゆる所に使用されるようになった。

例えば、DVD や BD など光ディスクの信号を読み取る（書き込む）ヘッドにあたる部品、光ピックアップには数々の光学部品が使用されているが、光学部品以外の、シャーシやベース部分などの非光学部品の固定にも UV 接着剤が多用されているのである。光ピックアップは接着剤の固まりと揶揄されることもある。

その中からまず、光ピックアップの中の最も重要な光学部品である対物レンズ（ピックアップの外観上部から見た時に中央に付いているレンズ図 5-1 参照）の接着を例に挙げる。

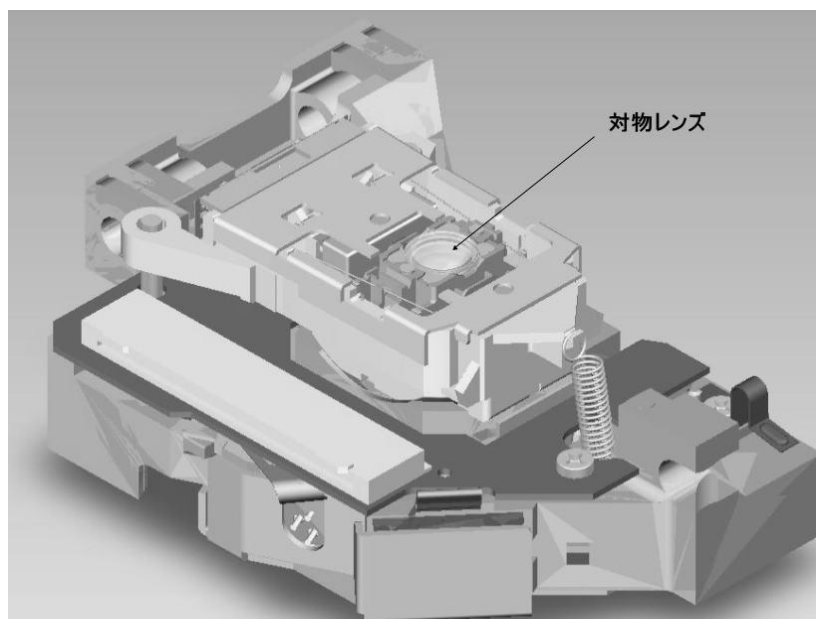


図5-1 光ピックアップ外観

先に述べたように、光ピックアップを構成する光学部品の中で対物レンズは最も重要で繊細な部品である。各光ピックアップメーカーは、その接着方法にも渾身の注意を払う。

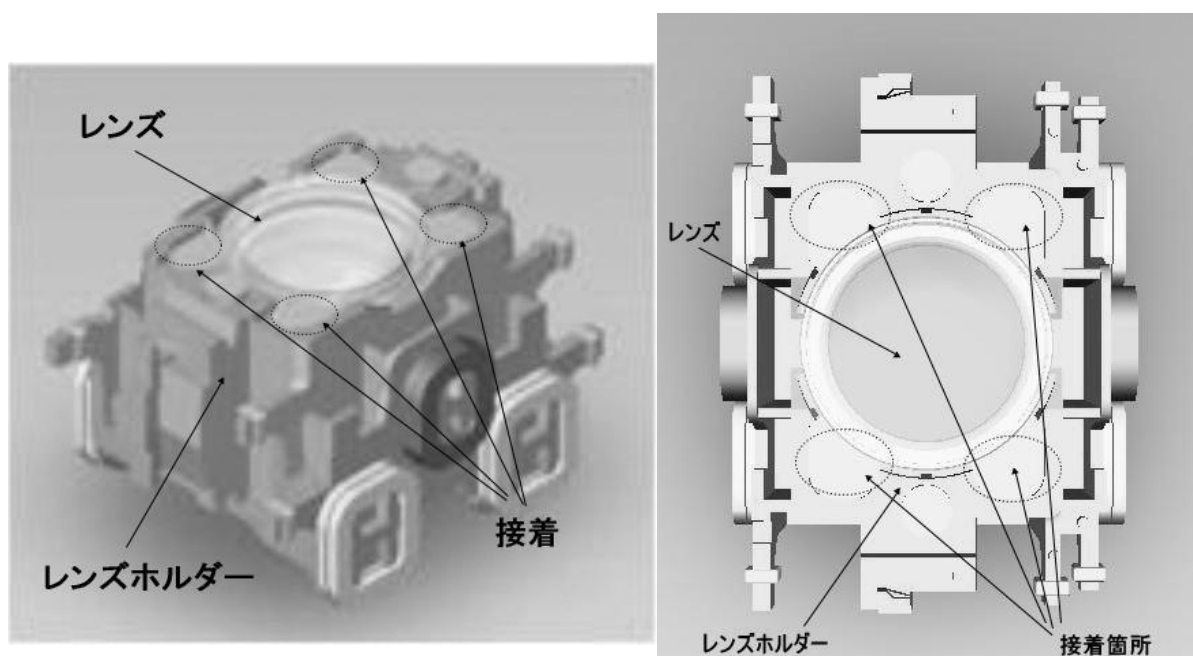


図 5-2 光ピックアップの対物レンズとレンズホルダー

対物レンズの性能は応力に弱く、レンズホルダーとレンズの間に流れた接着剤の硬化収縮による応力はもとより、硬化後の経時変化環境変化により接着剤の膨張収縮による応力も細かく配慮し設計している。しかも対物レンズは上図のようなレンズホルダーごとバネで振動しながら終始加速度  $G$  を受けている状態にあり、そのうえ絶対に接着後の浮きや傾きが発生してはならない、落下衝撃にも耐えるそれ相応の接着力も必要とされている。従ってそれに適応する接着剤もそんなに多種多様にあるわけではない。その一つとして良く用いられている接着剤として硬度がショア A50 という非常に柔らかい接着剤がある。この接着剤は非常に優秀な接着剤として知られている。もしもこのレンズが外れ落ちた不良品が市場から戻ってきたとする。原因は何か？解析者はまず、破壊面の観察を行い、界面剥離か凝集破壊か？残っている接着剤の表面を針先で突き、可能であれば、レンズとレンズホルダーにこびりついた接着剤を剥がし落とし重量を測定する。重量はせいぜい Total で 1～2 mg である。そして過去の抜き取り検査データをチェックし、また考えられる衝撃を在庫の通常品にかけてテストを行う。再現するか？再現しないか？判らなければ事件は闇の中である。ショア A50 の接着剤数 mg の硬度を測定するのは簡単には不可能だ。再発防止

の方法は、抜き取り検査の頻度を上げ、毎日せっせと破壊検査を行うことである。当然、破壊検査をすればその光ピックアップは丸ごと廃棄となる。さらに破壊検査をするにしても、このような特殊な粘弾性を持った接着剤の破壊検査はどこが破壊強度なのかを知るのも難しい。完全に接着剤が剥がれてレンズが落ちる前に、接着剤樹脂の伸びが発生している可能性があるからだ。

筆者はこのような事例に、蛍光センサーで管理検査もしくは全数検査が適しているのではないかと思う。

光ピックアップの対物レンズのレンズホルダーは細いバネで空中に浮かすように組み立てられている。高さ位置精度傾きは  $0.1\text{mm}$   $0.1\text{deg}$  単位で要求されるためバネで空中に組み立てる時は、レンズホルダーのレンズ挿入穴を基準穴としてしっかり捕まえて組み立てる場合が多い。つまりレンズは組み立て後の空中に浮いたレンズホルダーに接着されるのである。レンズを直接押すような接着力検査は、破壊寸前の力に設定したとしても、レンズを傷つけ、バネの変形などの原因となり直接的な接着力の検査は不可能である。また、ロットごとの管理検査の場合、不具合を確認した時には既に数百、数千の製品が出来上がっており、それらを全て廃棄することになる。そこで蛍光センサーによる検査を、全数検査もしくは、ライン内での管理検査（タクトに合わせて可能な範囲で）を導入することにより、大きなメリットが得られるのではないかと思う。

もちろん、接着力の優劣は硬化が充分か不十分かだけによるものではない。接着面の影響もかなり受ける。それらは、別の受け入れ検査などで管理するとして、未硬化の接着剤がその接着部品のみならず他の接着箇所にも及ぼす悪影響も計り知れないものがある。光ピックアップの光学部品のその他の接着箇所についても同様のことが言える。

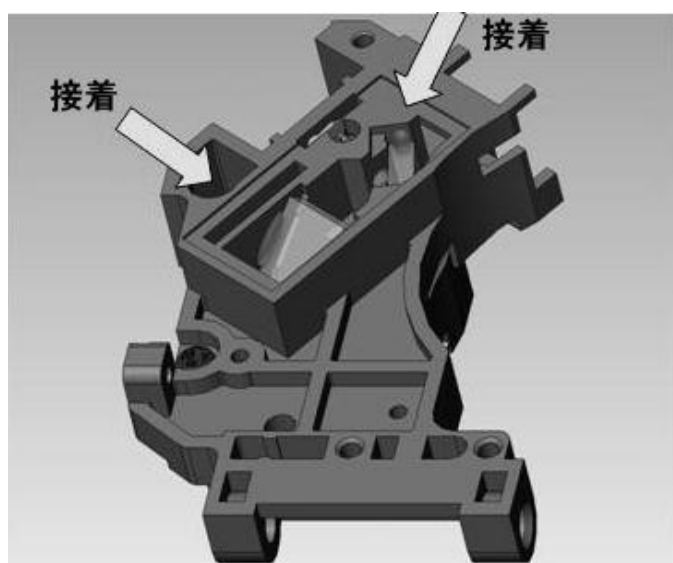


図 5-3 その他の光学部品接着箇所例

光ピックアップの接着の例として、光学部品以外の例も紹介しておきたい。UV 硬化接着剤の進化に伴い、過去にはバネとネジ及び熱硬化性 2 液エポキシ接着剤などで接着していた箇所が、UV 硬化接着剤で接着できるようになった。その工数の削減、製造工程の合理化は大きい。下図 5-4 に示す接着箇所は、最もその位置精度信頼性が求められる個所の一つである。要求される環境条件下において許される位置精度の動きは 5~10  $\mu$  m 以下である。

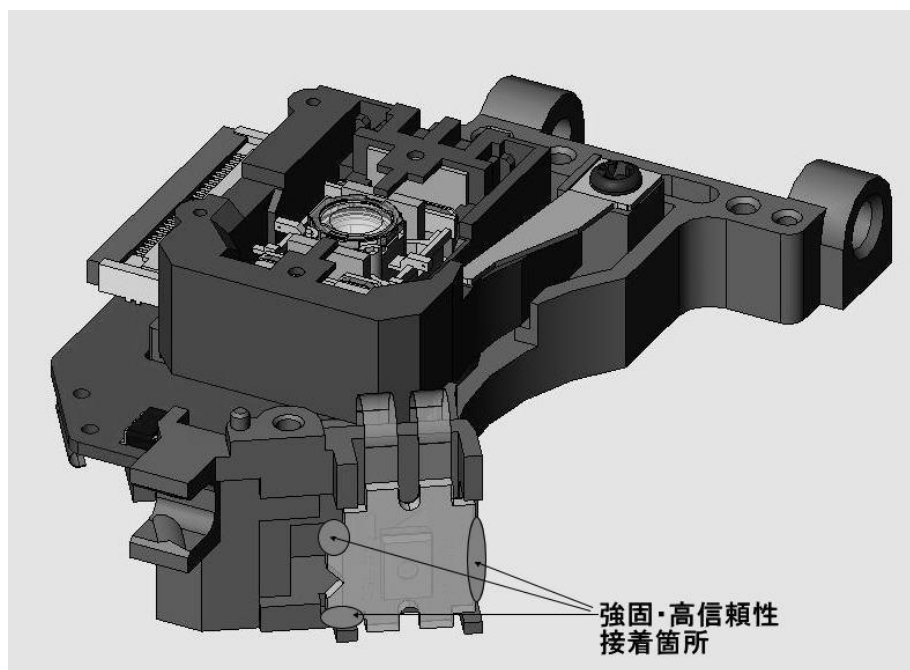


図 5-4 光ピックアップの接着箇所(光学部品以外)

上記接着箇所はさらに、光ピックアップ製造工程の中で最も工数（時間）を必要とする工程の中で行われる。ここの工数が光ピックアップのラインの生産能力を決めると言っても過言ではない。メーカーは 1 秒 2 秒の工数削減に取り組むのである。この中で行われる UV 照射時間 10 秒~30 秒はとてつもなく大きい。この照射時間を 1 秒でも 2 秒でも削って信頼性が取れるギリギリまで詰めたくなるのは自然である。筆者はこの箇所にも蛍光センサーが活躍する場があるのではないかと推察する。

また、特にノート PC や車載など薄型の光ディスクドライブに搭載されている光ピックアップ(図 5-5 参照)は、レンズを駆動するレンズアクチュエータ部分と光ピックアップ全体の基台となるベースシャーシ部分の固定も UV 硬化接着剤が使用されている場合が多い(図 5-6)。この箇所も要求環境条件下での許容される動きはレンズの傾きに換算して 0.05 度以下となる。



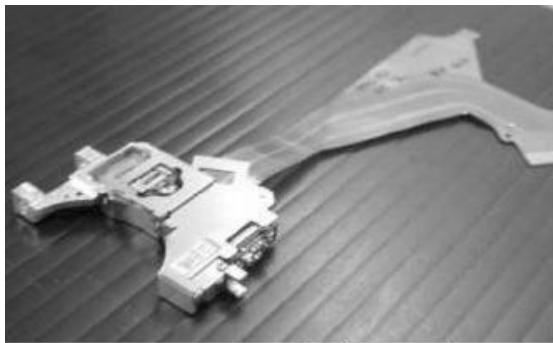


図5-5 スリム型光ピックアップ

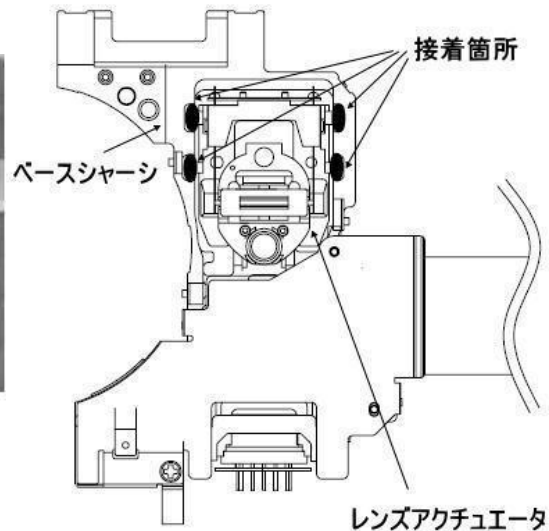


図5-6 薄型光ピックアップの接着箇所

これらの箇所は1カ所5mg前後と光学部品と比較し多い量の接着剤が塗布される。また光学部品と違い、光を透過しない金属その他の材料にポッティングする形で接着剤を塗布し、影となる部分に流れ込むと硬化のための光が届かず未硬化部分が発生してしまう。これらについても充分注意を払わなければならず硬化度合いの管理が必要となる。

図5-7はこれらの複数の接着箇所を順番に計測していくために作られた光ピックアップの接着硬化検査システムである。あらかじめ測定する箇所のX,Y(Z)座標をプログラミングし、自動でデータを採取し検査を行う。某社ではこれによって多大な合理化利益を得たという。

但し、このように長い文章で蛍光センサーを使うことの利点を説明し推奨するのは一つ訳がある。前述のように、UV硬化樹脂が反応を終え、あるべき状態になったかどうかを判断する判断基準は、測定者(条件設定者)に委ねられている。ある物質が化学反応によって蛍光物質に変わることを利用し、その反応結果のバロメーターとして蛍光量を測定することに納得できれば、大いに役立つのが蛍光センサーである。

蛍光量は、蛍光物質の量によって変わる、取り込み量によって変わる。温度によって変わる。周辺に別の蛍光物質があればその影響も受ける。蛍光の値が測定物の量によって数値が大きくなったのか、反応の進み具合によって大きくなったのか、判断できるポイントを見つけ出し、安定した測定方法を構築するのは、あなた自身である。

### 蛍光センサ 自動測定システム

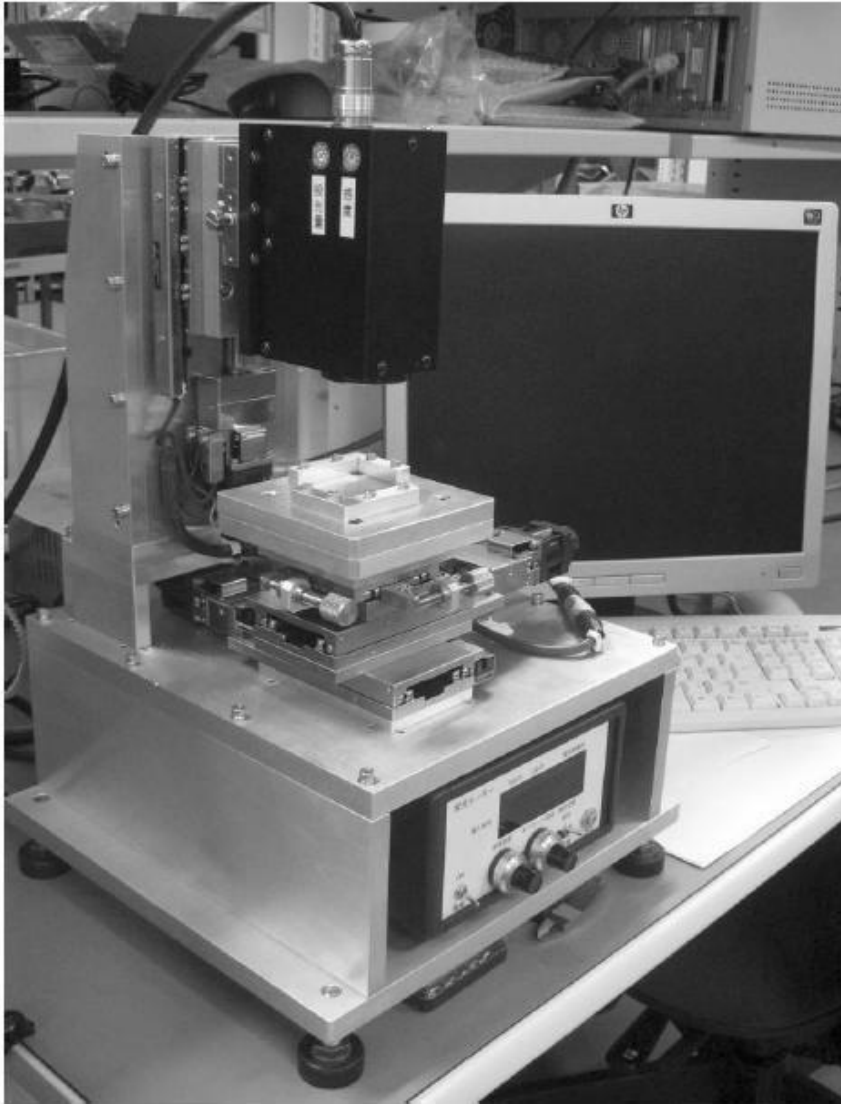


図5-7 光ピックアップ接着箇所計測システム

少し、躊躇させるような言い方をしてしまった。ポッティング型の接着剤は測定するポイントの樹脂厚の制御が難しそうに見え、OK/NG 判断をどうするか悩んでしまうことだろう。しかし、精密機器を構成する部品の接着が性能・品質に与える影響を考えると、もしもその品質管理を安定して確実に行うことで大きな利益が得られるとすれば、このポイントのここをこの方法で測定すれば確実に見極められるという方法を見出すための努力は報われるはずだと思う。そしてその方法はその製品を熟知しているあなたにしかわからない。

次の章では、比較的容易に判断基準を決めることが可能な薄膜系の実用例について説明する。

## 2. 薄膜系 UV 硬化樹脂

ここで言う薄膜系 UV 硬化樹脂とは、数  $10\ \mu\text{m}$ ～数  $100\ \mu\text{m}$  のシート状に塗布されたものもしくは、シート状平面状の張り合わせに使用される UV 硬化樹脂のことをさす。

例えば、光記録ディスクの Blu-ray ディスクは  $1.1\text{mm}$  のディスク基板の上に記録層を形成した後、スピコート法で UV 効果樹脂を塗布するか、 $0.1\text{mm}$  のシートを UV 効果樹脂で張り合わせるという製法が取られている。これらは極めて高い機械的・光学的な精度を満たす必要がある。

スピコート法の Blu-ray ディスクを蛍光センサーで測定してみた。図 5-8 のような X-Y ステージに蛍光センサーのセンサー部分を取付け、蛍光量のマッピングデータを採取すると、図 5-9 のようなデータが得られる。



図 5-8 X-Y ステージ

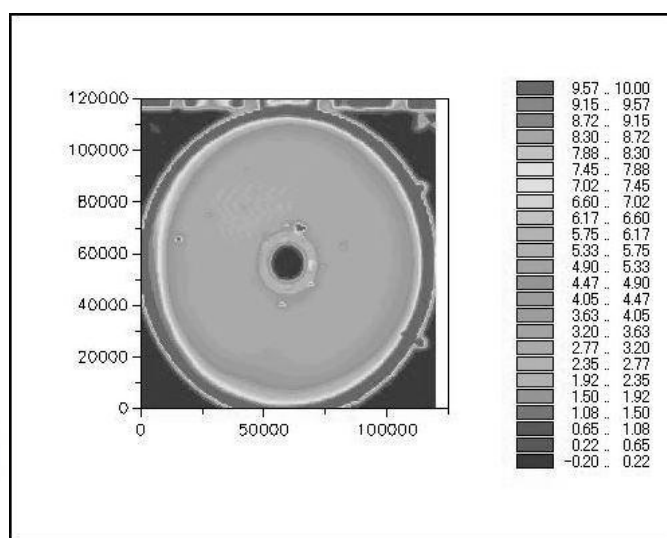


図 5-9 Blu-ray ディスクの  
蛍光マッピングデータ

マッピングデータは本書では白黒で判りにくいかもしれないが、実際はカラー表示で非常に視覚的に判りやすいデータである。

この蛍光量のデータは、UV 硬化樹脂の厚みもしくは硬化度合いを示す。同一データから厚みと硬化度合いを切り分けることはできないが、測定・評価の手順により、そのどちらを評価するにも優れた測定ツールであると感じる。薄膜状であれば厚み分布変化が小さいため、条件を絞れば OK/NG 判断のしきい値判定も行いやすい。昨今ではシート状の物の張り合わせの製品にも多く UV 硬化樹脂が採用されている。例えば、ロール状のものであれば、図 5-9 のような手法を用いれば、生産ラインの中で、UV 硬化樹脂の常時管理を行うことが可能になる。

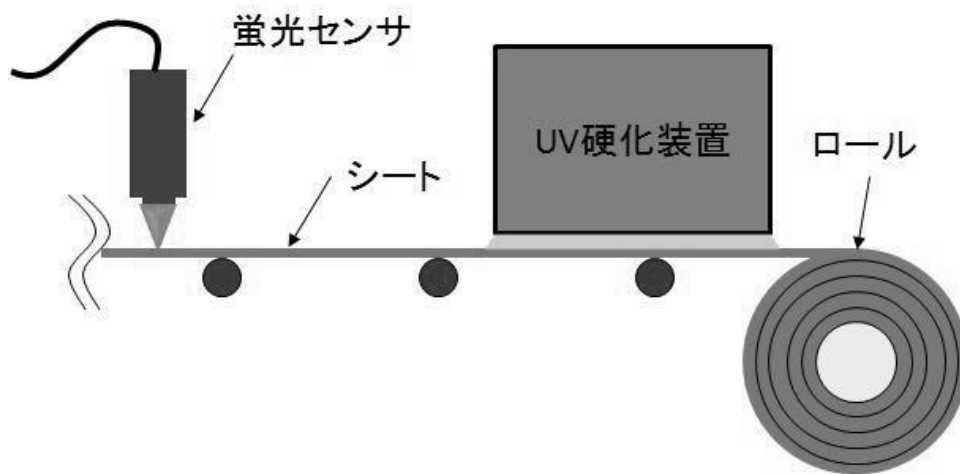


図 5-10 ロール状シートの工程検査案

また最近では、チップ電子部品の絶縁や、梱包形態にも UV 硬化樹脂が使用されているという。あるメーカーでは、その硬化状態の OK/NG 判断としても蛍光センサーが絶大な効果があったとの情報を得た。右図 5-11 は絶縁に UV 硬化樹脂を用いたチップ部品の一例である。



図 5-11 チップ部品

これらの例のように、シート状の薄膜系 UV 硬化樹脂の硬化度合いや、厚みの管理に、蛍光センサーが非常に有用であると言える。この場合特に注意が必要なのが、シート状の被接着物、被カバー物の素材に蛍光素材が使われている可能性についてだ。一般的によく使用されている PET 樹脂がその代表で、残念ながら PET 樹脂は励起光 365nm で蛍光センサー上、高レベルの蛍光を発する。それはそれである意味有用かもしれないが、それに付着する別の素材の蛍光を測定したい場合には、測定において PET 樹脂の蛍光が邪魔になる場合が多い。そこから先をどうするかは、評価者の熱意によるものだが、例えば、UV 硬化樹脂の反応波長を PET とずれた所に持って行き、励起光の波長を変えることによって蛍光センサーでの評価を可能にするというのも一つの方法である。

### 3. UV 塗料

筆者がマーケティングを行うにあたって、ここまで UV 樹脂が広く使われているのかと感嘆したのが UV 塗料である。これはまさしく筆者の無知によるものだが、電子機器の筐体だけでなくありとあらゆる商品、パッケージ、印刷物

に UV 塗料が使用されている。そして塗装の剥がれなどによる外観に関する課題も少なからずあることを知った。

UV 塗料の場合、前述 5-2 の薄膜系 UV 樹脂の例よりさらに薄く、その厚みは  $10\mu\text{m}$  以下である。(株) センテックの検証によると、わずか  $6\mu\text{m}$  の塗装厚みでも、明らかに UV 硬化の状態を蛍光量で測定することができた。

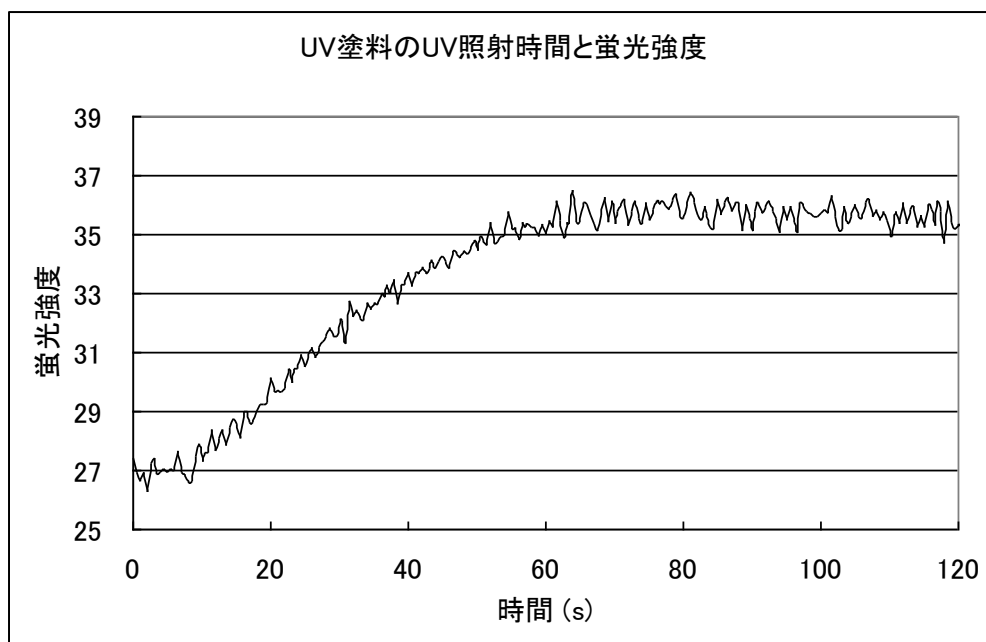


図 5-12 UV 塗料の UV 照射時間による蛍光強度の増加

また最近注目されるリソグラフィ技術に用いられる UV ナノインプリントにおいても、蛍光センサーが有用な評価技術であることがリソテックジャパン(株)より発表されている。(月刊トライボロジー2010.2月号)

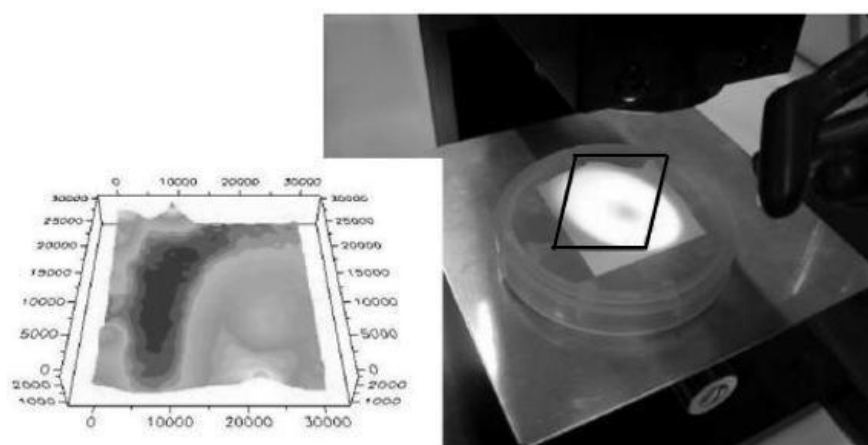


図5-13 蛍光強度分布と露光エリアの関係(リソテックジャパン株)

今後、蛍光センサーが UV 塗料の評価のために使用される機会も増えていくことであろう。

## 6. より研究者のために

これまで、いかに UV 硬化樹脂が広く世の中で使用され、その評価に蛍光センサーがいかに有用であるかを述べてきたが、ここまで UV 硬化樹脂が広がった背景には、その樹脂そのものを開発した研究者・開発者の功労を無視することはできない。第 5 章で例にあげた光ピックアップは、UV 硬化接着剤の進化の恩恵を受けた最たるものの一つでもあり、筆者はそれをひしひしと肌で感じてきた。今回のマーケティングを行うにあたって、その UV 樹脂の開発者と話をする機会を何度か持たせてもらい、さらに樹脂の研究段階にもこの蛍光センサーが役立つ場があると強く感じ、興味を覚える。

例えば前述図 4-5、4-6 のように硬度と蛍光量のカーブが合わないもの、または、硬化が終了し、UV 照射を停止してから何分、何時間もかけて変化をしているもの。それらは、ただ何も考えず蛍光量を測定しているだけでは何も得ることはできないが、何かが起こっているのである。硬化が進んでいるのに、一時的に蛍光量が減少するものや、硬化が終了してからゆっくりと蛍光が増加するもの、もしくは減少するもの・・・が実際に存在する。一つの仮説としては、励起光エネルギーが他の熱エネルギーなど蛍光以外の他の用途に使われたということが言える。

その物質を知りぬいた研究者なら、反応の中で何が起きているかを蛍光量の増減で推測可能ではないだろうか？目に見えない何かを、周辺の様々な現象から解き明かして行くのはわくわくするような探究心を掘り起こす。

蛍光の増減と、研究中の素材の物性の何かがリンクすれば、蛍光センサーで蛍光を測定するといういかにも単純な作業で、非常に奥が深い反応過程の何かを知りうることにつながるのではないかと筆者はそのような期待を強く持っている。

## 7. その他の蛍光によるセンシング評価

蛍光センサーは励起光を照射し、その励起光によって発生した蛍光量を測定するだけの装置である。本冊子では、UV 樹脂についてばかりを述べたが、蛍光量を測るということにおいて、特に UV 硬化樹脂に限ったことではない。

世の中に蛍光を発するものはゴマンとある。(株)センテックの技術説明資料の中で説明されているように、その用途は UV 硬化樹脂の評価にとどまらない。水中に分散したクマリンの濃度測定、油膜厚みの測定、空気中の蛍光物質の測定によりフィルター機能の確認など、既に数々の実績があるが、未知の分野であっても、ある日、蛍光量の測定によって従来の課題がふいと片付いてしまう

かもしれない。最近では濡れ性 UP などの表面改質に使用されるプラズマ処理においても、その処理が正常に施されているかどうかを確認するために蛍光量測定が有効であることが判った。これもほんのちょっとしたひらめきでテストを行い得られた結果である。これまで蛍光量がこのように簡単に精度よく測定できるという認識は無かったと考えられるため、少し見方を変えるだけで新たな発見があるのではないかと思う。

## まとめ

筆者が初めて蛍光センサーで UV 接着剤の硬化度合いが判るということ聞いた時の納得と感嘆が入り混じった気持ちは今でも覚えている。ところが今まで世の中になく、知られていない評価方法を世の中に送り出して行くのは川が流れるようにすらすらとは行かないようだ。手軽に使える装置だが、評価するものは間接的で絶対値ではない。手をかざしただけで全てを読み取る超能力のようにはいかない。目的とする評価物の特性と蛍光の因果関係を読み取って初めて蛍光での評価が成り立つ。買ってきて机の上においてスイッチをポンと押すと結果が出るようなものではないので、導入にはある程度の“本気”が必要である。世の中の誰にも知られず得体のしれないものに“本気”の評価時間を費やすことには高いハードルがあるに違いない。でも世の中の誰も知らない新しいものだからこそ、新しい発見と発展があるのだ。蛍光センサーはようやくある程度名を知られ、世の中に浸透していく最中にある。本冊子はその浸透スピードを少しでも早くする手助けになれば幸甚に思う。最後に、蛍光センサーを考案開発した株式会社センテックの長谷部社長と中宗取締役に敬意を表し、本冊子執筆にあたって技術的な詳細と現状などご助言頂いたことに感謝します。また事例ヒアリングにご協力頂きました業界関係者の方々にも深く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) (株)センテック中宗憲一：月刊ディスプレイ Vol.13 (2007)
- 2) (株)センテック中宗憲一氏より頂いた講演用パワーポイント
- 3) R.S.BECKER 著、神田慶也訳：けい光とりん光 東京化学同人
- 4) 加藤清視・中原正二著：UV 硬化技術入門 新高分子文庫
- 5) リソテックジャパン(株)関口淳・松本陽子：月刊トライボロジー (2010.2号)