

金属への直接コーティング：課題と解決策

ケビン・ジョセル

はじめに

紫外線硬化型コーティングは、自動車、エレクトロニクス、印刷、パッケージング、医療用コンバーティング、フローリング、家具、金属パイプやチューブなど、さまざまな業界で何十年も使用されています。これらのアプリケーションの全体的な共通点は、UV 硬化技術が優れた経済的成果があることであり、多くの場合、他の技術を非常に高速で成長させることを可能にする技術です。例えば、UV 技術の優れた処理能力がなければ、光ファイバーは存在しません。



UV 技術は、次の特性があることで知られています。

- 非常に速い硬化速度
- 低温環境での硬化
- 優れたコーティング性能

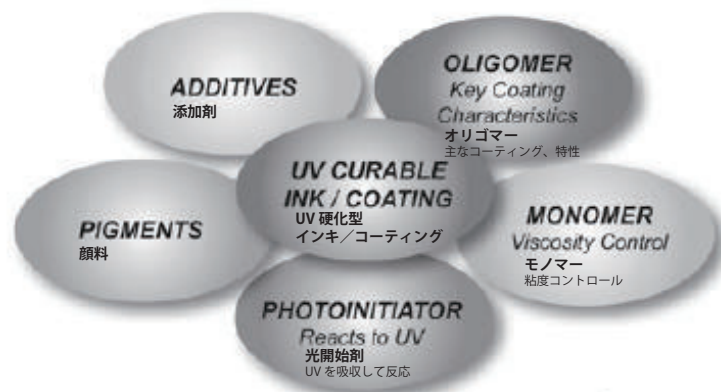
UV 技術は、主にフリーラジカル重合によってこれらの特性を実現します。熱硬化コーティングでは、さまざまな縮合反応を利用して架橋を実現しています。これら 2 つのタイプの反応を比較すると、フリーラジカル重合の反応速度は 1×10^6 倍速くなります！

フリーラジカル重合プロセスでは、光開始剤が UV エネルギーを吸収します。その後、光開始剤が開裂して、自由電子を持つラジカルを形成します。これらのフリーラジカルはその後、オリゴマーやモノマーのアクリレート官能基と反応して架橋反応を開始し、数秒以内に要求される特性を備えた硬化膜を形成します。

UV 硬化技術が最初にかつ最も広く採用されたのは、ウェブ方式またはフラットラインのアプリケーションでした。これは、容易に硬化するのに必要な最小 UV エネルギーをコーティング剤に照射することができたからです。また、多くの用途は、印刷などの最小要求性能を満たし、高速のプロセス速度を実現できるクリアコートまたは薄膜の顔料のコーティングに限定されていました。数十年にわたって、原材料や UV 硬化装置、プロセスの進歩により、3 次元 (3D) 部品の工業用コーティング用途に採用されてきました。

フォーミュレーションとプロセスの課題

3D UV 硬化コーティングの調査段階での主な懸念は、UV 光源による見通し線硬化の要件です。つまり、影になる範囲がないことです。もう 1 つの主な制限は、完全に硬化するためには、UV エネルギーが基材上のコーティングを透過する必要があります。これによりコーティングが基材に密着します。これはクリアコートでは簡単に達成できますが、顔料系では大きな課題です。顔料や工業用コーティング中のその他成分は、UV エネルギーの一部を吸収するため、完全硬化は克服困難な課題となっています。但し、これらの問題は克服できないものではなく、フォーミュレーターが理解している必要があります。



Graphic 1; UV Formulating Components
 図 1 : UV フォーミュレーションの要素

2つの重要な原料（長波長 UV を吸収する光開始剤と、新しいハイパーブランチオリゴマーやモノマー）の開発は、大いに有用でした。これらモノマーやオリゴマーは、最小限の収縮で高い架橋密度を可能にし、基材への密着性を最大限に高め、その結果、耐食性を向上させます。また、極性の高いモノマーとオリゴマーは密着性を向上させます。また、フォーミュレーターはナノ粒子を UV 硬化系の新しい配合成分として取り入れています。

市場をけん引する要因

強い経済的誘因がなければ、他の技術が取って代わることはありません。エンドユーザーが調査し、UV 硬化技術を採用する主な理由は、セル生産方式コンセプト、プロセスフットプリントの削減、エネルギー消費の削減によりコストを削減し、仕上げ作業における環境への影響を減らすからです。

熱硬化装置の場合、大型の仕上げ装置によって最高の経済性が達成されることはよく知られています。特にオープン内の「線密度」が主な要因です。最も効率的なオープン配置は、表面積と体積の比率を最小化することです。熱損失は、オープンの開口部、上部、壁、床から発生します。体積を増やすと、相対的な熱損失は減少します。UV 硬化技術では、開口部と筐体の表面積は影響しません。主な課題は、部品間に適切なスペースを確保し、コーティング硬化のために、最小のランプ灯数で UV エネルギー照射を最大化する方法で部品を配置することです。

アプリケーション

金属加工における UV 技術のアプリケーションは、シャフトやシリンダーから、携帯用プロパンガスボンベ、油圧シリンダー、モーターアセンブリ、オイルフィルター、ダンパープーリーなどのボンネット下の自動車部品などの複雑な形状までさまざまです。もちろん、すべてのアプリケーションが UV 硬化の対象となるわけではありません。次のような主要な質問をすることで、プロセスが UV に適しているかどうかを判断できます：

■ 部品の表面は照射されやすいですか？

ここで重要なのは、部品の陰影部分とその複雑さです。本来は凸状のものや、付属物がほとんどない、または小さい部品が理想的です。

■ 硬化する部品に大きなばらつきがありますか？

最も費用対効果の高いソリューションは、バリエーションが最小限のものです。通常、3次元のうち2次元の変動が小さい場合、成功する可能性が高くなります。

■ 色の選択肢は制限されていますか？

多種多様な色が使用されている場合、最適な UV ウィンドウを得ることは難しいかもしれません。

■ UV プロセスは上流および下流プロセスにどのように適合しますか？

UV 硬化の前後でセルと生産性を一致させることが主な懸念点です。コーティングの仕上げ / 硬化が工程のボトルネックである場合、UV 硬化が主な技術候補でなければなりません。

セル生産方式

製造業務では、生産性を最大化し、手動と機械による作業をリンクすることで無駄を最小限に抑え、付加価値のある作業を最大化するために、セル生産方式を採用することが増えています。プロセス収支は、最初の検討事項です。仕上げの場合、目的は、成形などの他の製造作業と同じ規模でより短い仕上げラインを持つことです。UV 技術により、はるかに小さな仕上げシステムが可能になります。以下の図 2 は、熱硬化と 100%固形分 UV 液体コーティングを用いた UV 硬化システムでの大幅なスペースの削減の違いを明確に示しています。

設置面積が非常に小さい、連続仕上げシステムがいくつか開発されています。最も一般的な設計では、図 2 に示されているように直線ラインを使用します。別の一般的な設計は、ステーション毎にインデックスをつけた内部ターンテーブルを備えた 4 壁面の仕上げセルです。ユニットには、自給式のスプレー塗布、エア処理、液体処理、UV 硬化があります。サイズは、部品の外形によって異なります。この場合、セルは約 2.4m x 2.4m x 2.4m です。最初のステーションでは、部品が投入されたり取り出されたりします。2 番目のステーションではコーティング剤が塗布され、部品は UV 硬化ステーションにインデックスを付けます。通常、部品はこのステーションで回転します。場合によっては、ランプは硬化プロセスで硬化部品のスキャンを上下させることがあります。

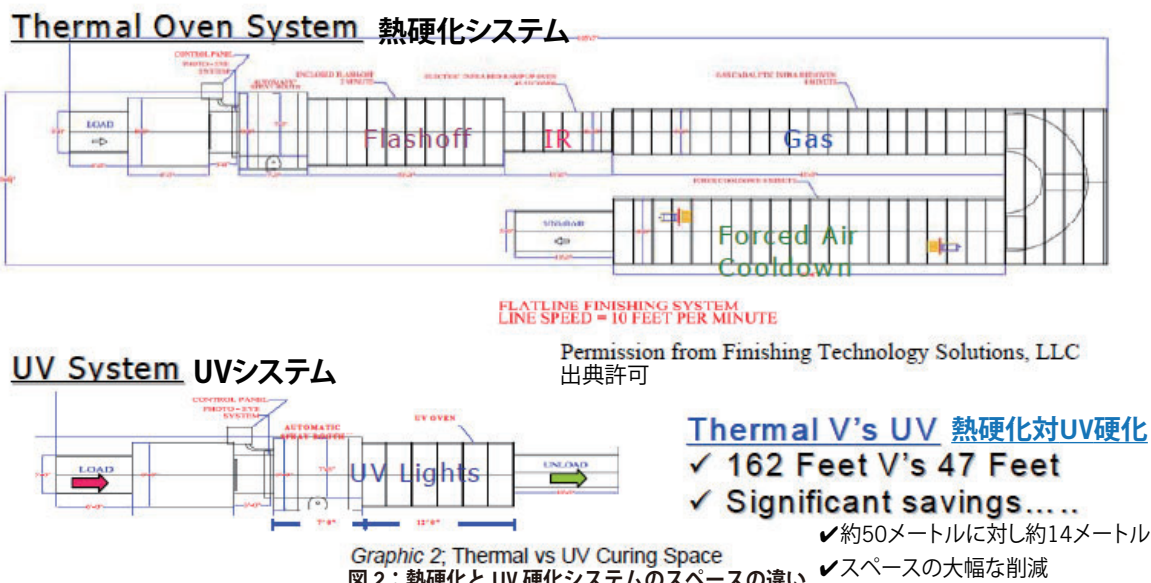
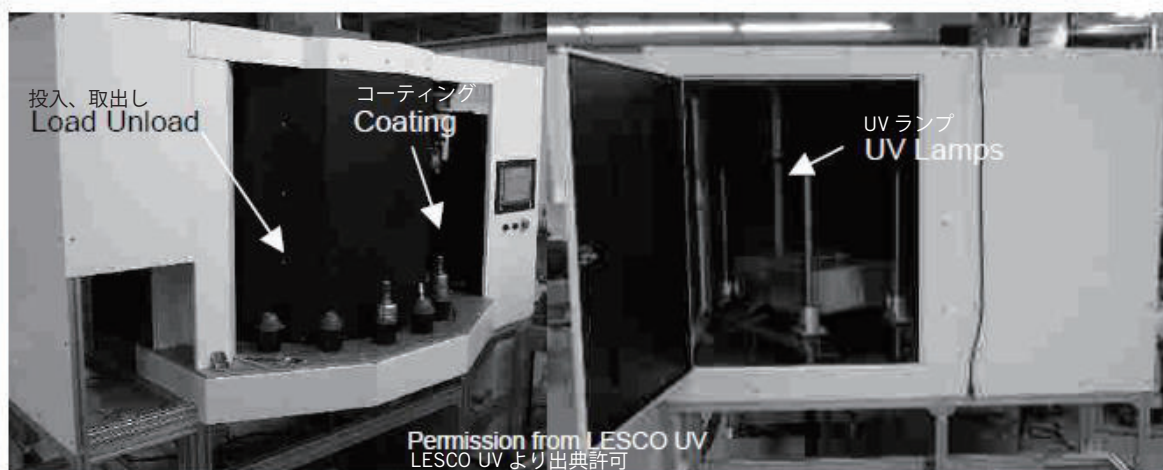


写真 1 と写真 2 は仕上げセルの前面と側面を示しています。部品は、ターンテーブルに取り付けられたスピンドルに取り付けられます。ターンテーブルは、特定のサイクル時間としてインデックスを作成します。塗布されたコーティングは 100% 固形分であり、90%の転写効率を達成しています。最終的に、部品は写真 2 に示す UV 硬化ランプに到達します。この場合、ランプは、部品が回転するときに上下にスキャンし、さまざまな高さのパーツに対応できます。



Photos 1&2; UV Finishing Cell

写真 1&2 : UV 仕上げセル

セル生産方式における UV 硬化のもう 1 つの重要な利点は、部品に貼られたあるいは取り付けられたシール、ガスケット、プラスチック部品などの高温に弱い部品を取り付けて製品を仕上げることができることです。ほとんどの場合、最終ステップは、梱包前の組み立てられた製品の最後のステップになります。

性能仕様

最近の主な成果の 1 つは、未処理およびリン酸塩処理鋼、亜鉛めっき鋼、アルミニウムなどのさまざまな基材の腐食や外観要件を満たすためのフォーミュレーターが達成されていることです。これらのアプリケーションはすべて、美的外観の要件を満たす必要がありますが、最重要の要求特性は耐食性です。耐食性に対する一般的な要件は、250 ~ 1,000 時間の耐塩霧性 (ASTM MB117) です。UV コーティングは、これらの要求特性を満たすことができます。

UV 硬化コーティングの他の利点は、硬化時に 100%の特性が得られることです。UV コーティングは通常、硬化後はより硬く、より冷えているため、部品の梱包と出荷の準備が大幅に短縮されます。一般的な膜厚の範囲は 10 ~ 50 μ mです。膜厚制御は、UV コーティングの重要なプロセスパラメーターであるため、塗布プロセスの自動化が非常に要求されます。UV コーティングでは、コーティングの膜厚が厚いほど、生産性を維持するためにより多くの UV エネルギーが必要になります。

UV プロセスの検討事項

UV 硬化プロセスを設計し、どのように仕上げラインに組み込むかを構想する際には、多くの要因を考慮する必要があります。常に分析し始める必要がある 4 つの重要な検討事項は次の通りです：

- コーティングの硬化に必要な UV エネルギー
- 生産性
- 部品サイズ、形状、向き
- 部品の表面の重要な性能

UV 硬化の設置に影響を与え得る追加の検討事項も定義する必要があります：

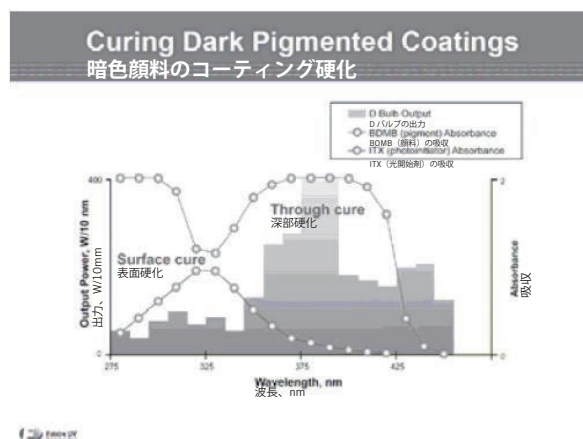
- 既存のラインでの新規設置または改造
- 物理的な制約
- コンベアタイプのオプション
- 部品の配置
- 部品の動き

UV 硬化プロセスを設計する際の主な懸念事項は、硬化プロセスに必要な UV エネルギーを照射するために、ランプの光学系がどのように部品形状に関係するかです。これは複雑な問題かもしれませんが、多くの標準的な解決策が実行されており、次のグループに分類できます：

- 単一のランプまたは複数のランプを 1 列に配列：このソリューションは、単純な形状、または 1 次元または 2 次元の基板に使用されます。
- UV ランプを複数列に配列：これは最も一般的で柔軟性の高いソリューションです。ランプの配列は通常、境界が明確になった部品に UV エネルギーを照射するように設計されています。
- ランプの自動化：これは、ランプを軸上で回転する、または単一の平面内でランプ 1 灯を移動させる配列のように単純な場合もあれば、ロボットに取り付けられた UV ランプのように複雑な場合もあります。
- 部品を稼働：ランプは通常固定されています
- ハイブリッドシステム：これは、固定ランプと何らかの動きのあるランプの組み合わせを使用します。

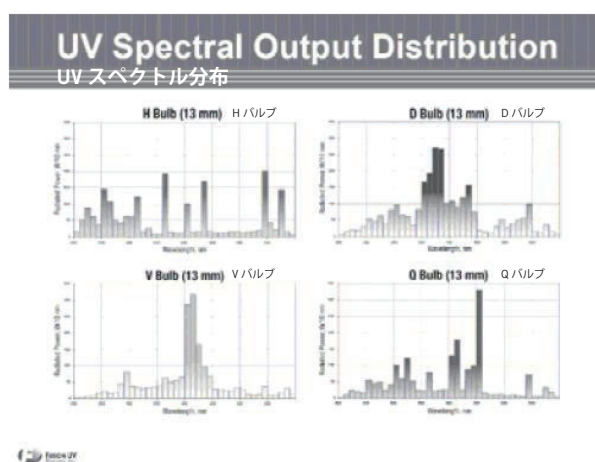
顔料系の硬化は通常、2 つの異なる方法に分かれます：単一のバルブまたは 2 種の異なる種類のバルブを使用してコーティングを架橋するか、あるいは、2 つの異なる UV 照射によって達成されるデュアルスペクトル硬化を用います。

顔料系に最も一般的に用いられるバルブは、D バルブです。このタイプの硬化は、暗色または黒色のコーティングでは比較的一般的であり、図 3 に示されています。



Graphic 3: UV Emission vs. Absorption
図 3：UV 発光と吸収スペクトル

多くの場合、金属への直接コーティングでは、単一のバルブを使用しても要求特性が満たされないため、デュアルスペクトル硬化が必要です。通常、かなりの量の二酸化チタンを含む白またはパステルの場合、長波長のスペクトルを有するバルブ（最も一般的にはVバルブ）を使用して、最高の硬化条件を実現することもあります。ほとんどすべての場合、VバルブまたはDバルブの硬化の後にHバルブの硬化が続きます。長波長はコーティングをより簡単に透過し、「深部硬化」を実現するために使用されますが、Hバルブの照射は表面硬化を強めます。繰り返しますが、主な因子は色と膜厚です。



Graphic 4; Various UV Bulbs Output
図 4：さまざまな UV バルブ出力

終わりに

UV コーティングは、25 年以上前に、金属管およびパイプ産業で採用され始めました。同じ時期に、3D プラスチック部品の UV 硬化コーティングが一般的になり、実績のある UV プロセスソリューションの開発が検証されました。これらの市場分野における UV 技術の成功は、原材料の進歩と相まって、以前は難しすぎるとされていた市場および顧客の要求特性を満たす金属への直接コーティングの開発を加速しています。業界の関係者の継続的な開発と協力により、金属への直接コーティングの成長は非常に有望となっています。

謝辞

著者は、本稿の情報、写真、図をご提供いただいた次の企業に感謝いたします。

- Allied PhotoChemical Inc.
- Finishing Technology Solutions, LLC
- Lesco – A Division of AUV
- Mid-America Protective Coatings
- Rexcel Coatings Corp.
- Strathmore Products, Inc.

ヘレウス株式会社

ノーブルライト事業部
UVソリューション

〒112-0012
東京都文京区大塚2-9-3
住友不動産音羽ビル2F
Tel: (03)6902-6630
Fax: (03)6902-6625
uvp.hkk@heraeus.com
www.heraeus-noblelight.jp

筆者紹介

ケビン・ジョゼルは米国・メリーランド州を拠点とし、UV ランプしすてむメーカーであるヘレウスノーブルライトアメリカ LLC の UV セールズディレクターです。

連絡先: +1-240-690-3849 メールアドレス: kevin.joesel@heraeus.com