水性印刷における赤外線乾燥

ヘレウス㈱　ラジエーション システム部　赤外線ヒーター課
伊藤　一洋

１．はじめに

本稿では、近年担当者を悩ませているであろう水性ベースの印刷の乾燥を取り上げてみたい。環境配慮から脱有機溶剤系が広く叫ばれており、実際に接着剤、コーティング、ニス、印刷インキなどにも水性ベースへの移行の動きは確実に現れてきている。しかし、なかなか大きな広がりを見せないのが現状である。そこには、次のような大きな問題があるからである。

①水性ベースの品質、仕上がり具合
②取り扱い性の問題
③乾燥難

今回は問題の１つである乾燥部分に、赤外線加熱を用いることで風穴を開けてみたい。

２．既存乾燥炉の問題点

有機溶剤系を水性ベースへ変更した場合、水の蒸発潜熱は有機溶剤系とは比較にならないほど大きく、それに伴って水分乾燥に多大な熱エネルギーが必要になることが乾燥を難しくしているのは周知のことと思う。現在、乾燥炉の多くは熱風乾燥炉である。この熱風加熱（対流熱伝達）で、水性乾燥への対応が難しい理由を簡単に説明する（図１）。

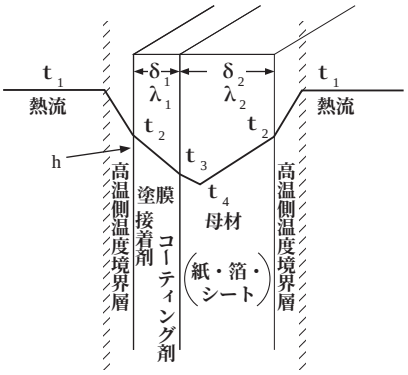

図１　熱風炉の加熱メカニズム

ここでは印刷インキ、ニス層などを塗膜と呼ぶことにする。熱風の温度t_1が被加熱物（母材＋インキ、ニスなど）に与える温度は、熱風温度t_1と強制対流伝熱率αで表面温度t_2が決定される。伝わった表面温度t_2は塗膜、母材内部に熱伝導で熱を伝えていく。この過程で、母材等を昇温させるのに熱量を費やしながら、全体的に昇温させていくわけである。では、この熱風加熱炉でより多くの熱量を与えるにはどうしたらよいだろうか。単位塗膜面積当たりの熱量（熱流束q：W/cm²）を大きくすればよい。その基本は次式である。

$$q = \alpha \times (t_1 - t_2) \quad (W/cm^2)$$

このように熱量（熱流束）を大きくする基本は温度差（$t_1 - t_2$）であり、従って、熱風炉において熱風温度t_1を上げることで温度差（$t_1 - t_2$）も大きくなり、熱量（熱流束）も大きくなる。

しかし熱風炉で熱風温度t_1を上げるのはそう容易なことではないし、同時に炉外への熱損失も大きくなる。また、水分乾燥には蒸発水分を効率的に取り除くことが要求されるため、完全循環熱風は使えない。そのためより一層、熱風の熱効率を悪くさせているのである。もう１つの問題は、熱風温度t_1を上げた場合、母材や塗膜の内側の温度が低い時に塗膜表面が高温の熱風と接してしまうと、皮張り等の欠陥が発生しやすくなる。

つまり、熱風炉では熱量（熱流束）を大きくすることは難しく、それ以外の方法としては乾燥炉への長時間滞留しかない。非現実的な話である。

それでは水分乾燥に熱風炉が不要かというとそうではない。必要なのである。上記でも述べたが、最大の目的は蒸発水分の除去である。蒸発した水分を除かなければ雰囲気が水分飽和状態になってしまい、その後いくら熱を与えても水分は蒸発しないのである。

赤外線は一度に大きな熱量を照射物に与えることができるのだが、蒸発水分の除去はできない。お互いの欠点を利点で補い、最大の効果を得るエンジニアリングが水性乾燥には必要である。

３．赤外線

3.1　赤外線加熱原理

赤外線加熱は私たちの身近なところで多く使われている。太陽からの熱も赤外

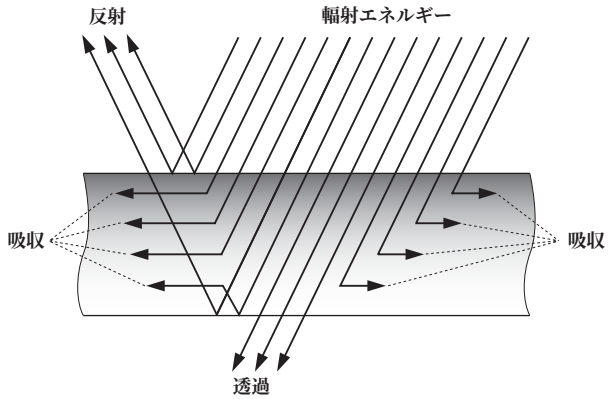

図２　赤外線加熱の原理

表１　ヘレウス製赤外線ヒーター性能一覧

	最長加熱長	発熱体温度（℃）	最大エネルギー波長（μm）	立ち上がり速度	最大エネルギー密度（kW/m²）	平均寿命
短波長赤外線ヒーター＊1	3m	1,600〜2,100	約1.2	1〜2秒	120	5,000時間以上
中波長カーボンヒーター	1.6m	950〜1,200	約2.0	2〜3秒	80	8,000時間以上
中波長赤外線ヒーター	4m	800〜900	約2.6	1〜2分	50	2万〜3万時間
長波長赤外線ヒーター＊2	セラミックパネル型	500〜700	約3.8	約10分	30	2万〜3万時間

注１）別称：近赤外線ヒーター
注２）別称：遠赤外線ヒーター

線である。しかし、その加熱原理は意外に知られていない。赤外線は光による輻射加熱である。ある熱源から放射された赤外線エネルギーは、被加熱物にあたると赤外線は反射、吸収もしくは透過する（図２）。吸収された赤外線エネルギーは、その波長特性により被加熱物の分子を振動させ、分子振動の摩擦が熱となる。この現象は赤外線が透過する層まで行われる。これが「赤外線は内部より加熱できる」といわれる由縁である。これは、熱風加熱やロール加熱が表面からのみの加熱であるのに対し、大きく異なるところである。

どこまで赤外線が透過するのかというと、一概に判断は難しい。簡単な判断方法としては、太陽に透かして光が見えれば透過している。余談であるが、なぜCO_2が地球温暖化の原因になっているかご存じだろうか。波長約４μmより短い赤外線波長はCO_2を透過するが、それより長い波長は吸収されてしまう。そこで熱となるため大気が暖まってしまうのである。しかし、この大気がないと夜は恐ろしく冷える。なくてもありすぎても困る、うまくバランスしていることが大切なのである。

3.2　赤外線の分類

一口に赤外線といっても大きく３種類に分類される。その区分はエネルギー波長である。波長は、放射体（熱源）絶対温度Ｔ（Ｋ）によってエネルギー波長λmが決まる。その法則は次式のウィーンの変位則である。

λm＝2,897／Ｔ（μm）

波長の短い方より短波長赤外線（近赤）、中波長赤外線、長波長赤外線（遠赤）と区別している。各赤外線の特長を表１に示す。各メーカーにより呼称が統一されていないため、赤外線の選定時には波長を含めた特性を確認しておくことをお勧めする。

3.3　赤外線吸収特性

水分や一般的な樹脂系は、波長2.5〜3.5μm程度に高い吸収特性を持っている（図３）。この吸収特性に赤外線のエネルギー波長を合わせれば、吸収効率的には高効率を得ることができる。しかし吸収効率は、母材材質、色、塗膜厚さ等により大きく変化してくる。また加熱の原則は温度差である。吸収波長だけにとらわれるのは非常に危険である。

3.4　照射効率

ヒーターから出た輻射エネルギーを100％被加熱物にあてることは、まず不可能である。一般的には反射板を使うことになるが、それでも20〜30％のロスは避けられない。ヒーターガラス面に直接、金反射膜がついているタイプでは、95％の照射効率を得ることができる。このエネルギーの差は非常に大きいものがある（図４）。

3.5　安全性

印刷での母材の多くは、紙もしくはプラスチックフィルムである。赤外線は大きなエネルギーを照射物に与えることができるが、同時に緊急停止の場合、過加熱や火災の原因となってしまう。機械的な安全機構はもとより、ヒーターも速い立ち下がり、そして復帰後の速い立ち上がりが要求されるのは当然である。

3.6　対流損失

熱風炉との併用を考えた場合、一般的な温風炉の温度は高くて200℃程度である。赤外線ヒーターの熱源温度は、温度の低い長波長赤外線でも約500℃に達する。そのため、熱風炉といえども赤外線

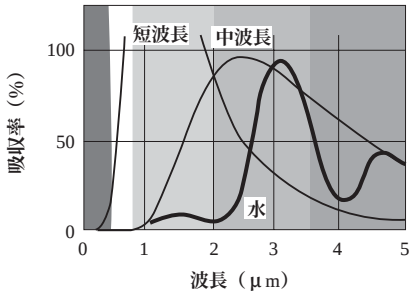

図３　水の赤外線吸収特性

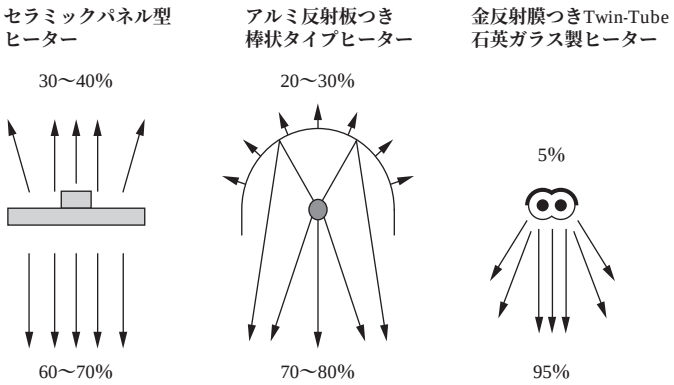

図４　照射効率比較

ヒーターを冷やす形になる。ここでヒーター構造により大きく影響度が変わってくる。外面部全体を放射体としている長波長赤外線は、この影響をもろに受ける。放射体を取り巻く風により熱を奪われ、結果的に放射体の温度が下がり、十分な赤外線を放出できなくなる。熱風炉との併用はできないのである。

これに対し石英ガラス製ヒーターは、石英ガラスが内部放射体コイルを風の影響から守っている。そのため対流損失がほとんどない。

４．赤外線、熱風併用乾燥炉の設定

4.1　併用乾燥炉の利点

水性乾燥の条件は、

①乾燥に必要な熱量を素早く与える

②水分が飛びやすい環境を作り出す（蒸発水分の除去）

ことなどにある。赤外線は①に対し、優れた能力を発揮する。当社の実績では、熱風炉が熱効率10％程度に対し、赤外線の加熱効率は40％前後にも達する。一方、熱風炉は②に対し優れている。赤外線は熱を与えるだけで水分を除去する能力はないのである。

このように併用乾燥炉では両者をうまく使い分けることにより、お互いの短所を補い合い高効率な乾燥炉を形成できるのである。

4.2　赤外線の設置場所

水分に熱を与えればすぐに蒸発するかというと、そうではない。水分には熱を受けてから塗膜内を移動する時間、気化する時間が必要なのである。そのため併用乾燥炉内での赤外線の設置場所としては、乾燥炉の入り口が最適である。赤外線の熱エネルギーは塗膜内部まで届き、中から加熱できるので、皮張り等を気にせず水分蒸発に必要なエネルギーを短時間で与え、その後、熱風炉にて温度をキープしながら、風の流れで水分が蒸発しやすい環境を作り出すのである（図５）。

５．実機検討

5.1　赤外線ヒーターの選定

３項で取り上げてきた要点からもお分かり頂けるように、ただ赤外線を使えばよいというものではない。どのタイプを使えばよいのか。お勧めは中波長カーボンヒーターである。このヒーターは印刷乾燥を目的に開発され、発熱体に従来の巻線型コイルとは違い、カーボンフィラメントを使用している新しいヒーターである。これにより水分系に適した中波長の波長領域を持ちつつ、立ち上がり、立ち下がり特性の速いヒーターを実現した。

赤外線ヒーターを選定する場合、製品幅を１本もので対応できるかも考慮すべきである。製品幅１ｍに対し500mmのヒーター２本より、１ｍのヒーター１本の方が温度ムラの点で優れている。また乾燥後の問題として、両端部の乾燥が中央部と比較してあまいという話をよく耳にする。当社のヒーターに限らず、すべての棒状ヒーターにいえることだが、製品幅１ｍに対し、ヒーター１ｍでは通常、製品両端からそれぞれ50～100mmは中央部に比べ温度低下を起こす。このため製品幅より両端50～100mm程度長めにするのが普通である。

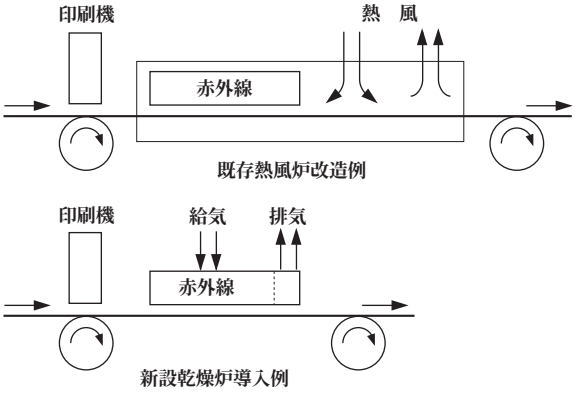

図５　赤外線／熱風の併用乾燥炉設置例

5.2　赤外線熱量の算出

机上にて水分蒸発に必要な熱量の算出式は、以下の通りである。

基材幅：w（m）

単位面積当たりの水分量

：m（kg/m³）

処理速度：υ（m/h）

昇温：常温から60℃までの昇温で蒸発と仮定

蒸発水分量は

＝w×υ×m（kg）となり、

蒸発潜熱は

＝w×υ×m×｛539＋(60－20)｝となる。

539：水の蒸発潜熱

お分かりのように、この算出熱量は水分蒸発分のみの熱量であるため、母材の熱量まで加えると、この熱量よりはるかに大きくなる。しかし実機の場合、必ずしもそれほどの熱量は必要とは限らない。理由として、印刷の多くは母材が紙のため、水分が母材に吸われる。また理由は不明だが、赤外線加熱により母材が水分を吸う量が多くなっているように見受けられる。当社テストでも、思わぬ乾燥速度結果が得られる場合がある。

６．おわりに

当社にはインクジェット、フレキソ等各印刷乾燥、水性接着剤の乾燥等への導入実績がある（写真１）。当社では、これらの実績を踏まえ、乾燥熱量の割り出しからテスト確認へのサポート、テスト機の貸し出し、実機設備のシステムサポートまで行っている。

完全水性化には多くの課題があるが、そこまで迫っている問題でもある。検討課題をお持ちの方は、ぜひご連絡を頂きたい。

写真１　フレキソ印刷機への搭載例