

■フィルム加熱炉への利用

近年は、あらゆる分野で高機能化、軽量化、フレキシブル化が商品に求められており、それらのニーズを満たす部材として各社が機能性フィルムの開発に注力している。代表例として、フィルム型センサー、包装フィルム用バリア膜、フレキシブルプリント配線板等が挙げられる。これらの部材の優位性は、何も機能面に限られた事では無い。フィルム部材は装置間を連続的に搬送する事ができる為、設備の省スペース化や生産効率の大幅な向上を見込む事が可能である。特に、加熱プロセスにおいて R to R 生産方式を成立させるには、以下の項目が非常に重要となる。

- ①. 加熱効率の高い遠赤外線方式の選択
- ②. 加熱搬送技術の確立

次項に、その概要を紹介する。

1. R to R 式加熱装置

R to R 生産方式において、加熱装置の選定は非常に重要である。何故ならば、加熱装置はライン全体に占める設置面積の割合が最も大きく、製品毎の必要加熱時間に比例してその大きさが変化する事になる。その為、効率の良い加熱装置を選定する事がライン全体の省スペース化に直結する事となる。また同様に、加熱搬送技術の確立も重要な要素である。フィルムの熱処理プロセスは寸法安定化や塗膜の乾燥等が目的として挙げられ、製造プロセス上で必要不可欠な処理となる。その一方で、フィルムは低耐熱性であり加工中に大きなストレスがかかる一面を持つ。従って、特に加熱プロセスではフィルムの軟化や熱伸縮により、外観上の諸問題が発生する頻度が高くなる。その為、各種フィルムの挙動に合わせて外観上の問題を抑制する最適な加熱と搬送の複合技術が必要となる。

2. フィルム加熱プロセスへの遠赤外線加熱の適応

伝熱方式には伝導、対流、放射（輻射）の3種類が存在する。工業炉として広く用いられる熱風加熱方式は対流加熱に分類される。熱風加熱の原理は、物質に熱風を直に吹き付ける事で物質の表面に空気を介して熱を伝える方式である。対して、加熱時間の短縮手段として推奨する遠赤外線加熱は放射加熱に分類される。赤外線は電磁波の一種であり、 $3\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ の波長領域にあるものを遠赤外線と呼ぶ。一般的に物質が持つ吸収波長帯（ $2.5\sim 30\mu\text{m}$ ）は遠赤外線の波長領域と一致する。この波長領域の電磁波が吸収されると物質の分子は共鳴し激しく振動する。これにより分子運動が盛んになり、分子衝突が熱エネルギーに変換され物質の温度が上昇する。これが遠赤外線加熱の原理である。ここで、遠赤外線ヒータを紹介する（図 1）。ヒータラインナップは、熱源によって大きく分別される。電気式の他にガス燃焼式や、防爆ヒータとして使用が可能な熱媒式（スチーム、オイル）のタイプがある。電

気式の特長は、細かな温度調整が可能であることや、制御系を含めて取り扱いが比較的簡単なことである。例えば、製品の幅方向の温度分布の修正も、ヒータを幅方向で温度分割制御を行うことにより容易に対応できる（図 2）。ガス燃焼式の利点は、ランニングコストを抑



図 1. 各種遠赤外線ヒータ

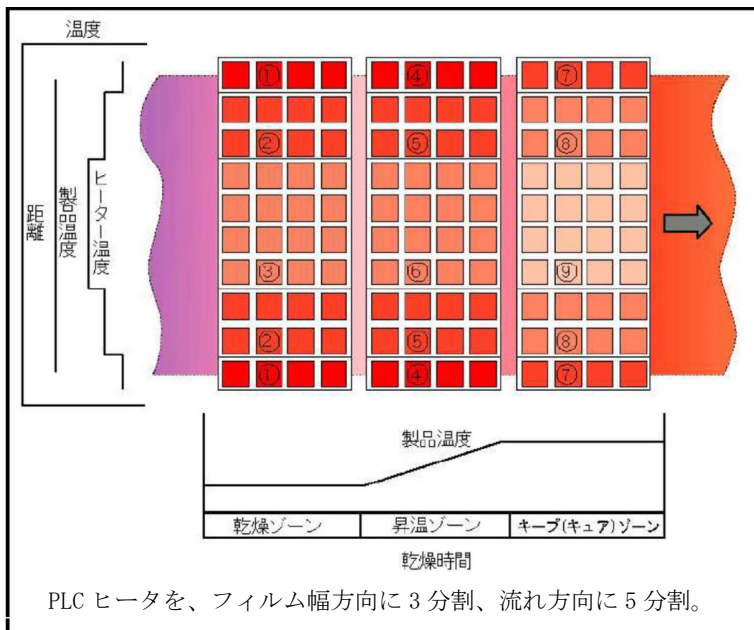


図 2. 電気ヒータのゾーン分割

えることができるため、大規模な設備に向いていることである。熱媒式は、防爆区画での利用に対応できることで、有機溶剤の乾燥などに適している。続いて、フィルムの加熱プロセスを対象にした場合の加熱原理の違いによる遠赤外線加熱の優位性について紹介する。フィルム塗膜の乾燥プロセスでは、塗膜内部の発泡を抑える為に深さ（厚み）方向へ均等に熱を伝える事が必要である。熱風加熱は熱風を介して物質の表面に熱を伝える方式であり、短時間では表層のみの乾燥が促進される傾向にある。内部の溶剤分が揮発する頃には表層膜が硬化してしまい、表面に発泡等の不具合を引き起こす事がある。その為に熱風加熱では一般的に、昇温時のフィルム内外部の温度差を緩和する為に低い温度から高い温度へ徐々に温度を上げていく温度コントロール

が必要となる。これに対して、遠赤外線加熱は物質の分子に直接作用する加熱方式である

為、短時間でもフィルムの内外部を同時に昇温させる事が可能である。この効果は絶大であり、熱風加熱で必要となる低温での温度コントロールプロセスを省く事ができ、炉長と熱処理時間の短縮を図る事を可能にする。また、フィルムの寸法安定化を目的としたアニール処理プロセスでも遠赤外線加熱は有効に作用する。アニール処理では、所定温度に短時間でフィルムを昇温させる能力が求められる。熱風加熱のエネルギー伝達量は、熱風温度とその風速に比例する。その為、急昇温させるためにはより多くの熱風を吹き付ける事が必要である。しかし、フィルムに吹き付ける熱風量の程度によっては搬送に支障をきたす蛇行の原因になる場合や、吹き付けられる熱風に偏りが生じた場合にフィルムの外観に余分な歪みを残す場合がある。対して、遠赤外線加熱は空気を媒体としない熱の授受が可能であり、フィルムの蛇行や外観に歪みを残す心配が無く、さらにそのエネルギー供給量はヒータ温度の4乗に比例する為、フィルムの急昇温への対応も容易である。

3. 加熱搬送技術の確立

フィルムを安定走行させる為に搬送ライン上に配置するロールの配置精度は、水平度および平行度共に数 μm レベルの高い精度が要求される。また、ロードセルやフィードロールを設け、搬送張力を連続的に制御する事も必要である。しかし、熱変形のおきる加熱炉内では、精度を保ったロール配置が難しく各種補正機構を設ける事に限界がある。それ故に、巻出巻取装置との連動が非常に重要となる。加熱装置と巻出巻取装置のメーカーが異なる場合、ライン運転時に連動が上手くいかずに顧客が手を焼く原因はそこにある。そこで、加熱装置と巻出巻取装置をラインとして捉え、全制御レイアウトを設計して製作販売を行える様にした。具体的には、巻出、炉内、巻取ゾーンで各搬送張力の個別管理を行う等、パターン毎にいくつかの基本設計を確立している。また、装置スペック（温度帯や加熱装置長等）に応じてフィルムの蛇行量を想定し、ライン中の最適な場所に蛇行補正機能を設ける等、多数の納入実績より得たノウハウを元に装置設計を行う事が可能である。しかしながら、新たに開発されるフィルムの特性は様々であり、装置設計を行う上で各フィルムについて十分な把握を行う事が重要である。加熱温度や搬送張力および加熱時のフィルムの挙動等、把握すべき項目は多数挙げられる。その為、新たなR to R式加熱装置の開発を行う上では、フィルム材料と加熱炉設計者の双方が十分な協議を行う事が重要となる。次項に、加熱検証試験を元に開発した装置の事例を紹介する。

4. 事例. 2層FCCL（銅張積層板）用R to R式遠赤外線加熱装置

2層FCCLはFPC基板用材料であり、モバイル機器の屈曲部に使用される電子材料として大きく伸長した。近年では、スマートフォンの高性能化を支える高密度な電子回路基板としてその需要は一段と増している。その製造工程では、極薄銅箔にポリアミドワニス塗布

した後、溶剤除去と同時に約 400℃にてイミド化させる加熱処理が必要となる。塗膜の乾燥



写真 1. 2 層 FCCL (銅張積層板) 用 R to R 式遠赤外線加熱装置

工程や高温加熱処理は、先に述べた遠赤外線加熱の優位性が十分発揮できる加熱プロセスと言える。本装置では、高温下での銅箔の酸化防止のために窒素雰囲気保持が必要となり、窒素を処理空間に封じ込めることができる特殊な遠赤外線

ヒータ (特許取得) を開発して対応した。また加熱中の製品の挙動として、極薄銅箔の片面に塗布されたポリアミドワニス溶剤分が揮発して収縮した事により引き起こされる強いカール問題があった。この問題に対応できる加熱搬送技術の確立は非常に難度が高いものであった。当社では製品のカールを抑制する為に独自の炉内ロール配置方法を考案し、それを実現させる為に高温下でもロール精度が維持できる機構の設計、検証に取り組みこの問題を解決した。これにより、従来の熱風炉と比較して生産性が大幅に向上した 2 層 FCCL 用 R to R 式遠赤外線加熱炉を確立する事ができ、バッチ炉で量産に苦慮していた業界のプロセスを一新する事が可能となった。

以上