



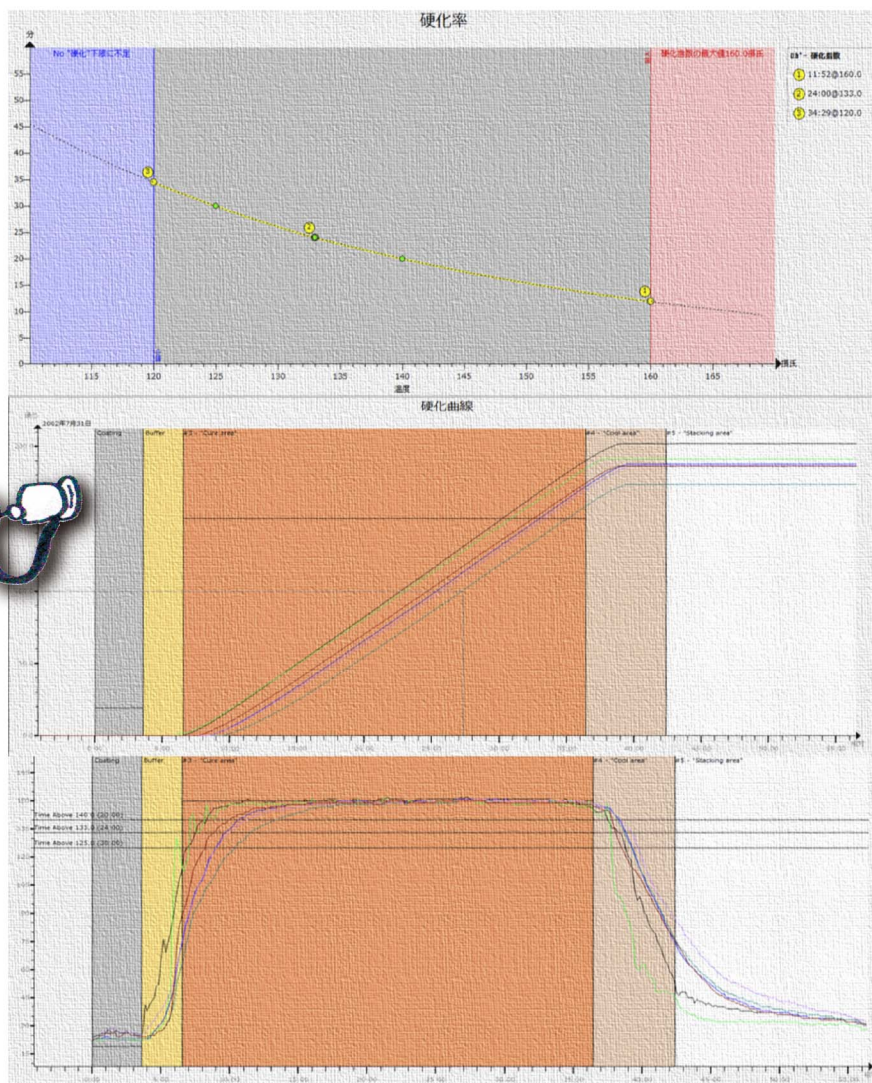
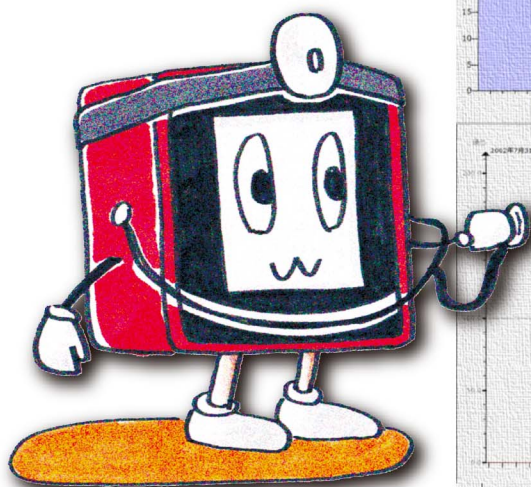
Project for Innovating OTEC's cornerstone
& Establishing remote communication circle

明日を創造するために
今できること、今やるべきこと

「異常の発見」から「異常を防ぐ」への進化のために あなたの炉は健康ですか？ SDGs・カーボンニュートラルの入口



工場のエネルギー消費
の中心課題は炉です!!



加熱の品質管理と省エネの視点で点検

1. 炉に設置された固定の温度計だけで品質の管理ができていますか？
2. エネルギーのムダ使いをしてませんか？
3. 炉の温度管理から製品温度管理への進化が求められているのでは？
4. 「そうだったのが！」と納得される事例を紹介。ぜひご一読を！



加熱乾燥炉のムダを考える

熱還流損失

ある塗装工場で乾燥炉のエネルギー効率を調査したところ約36%であったそうです。64%のエネルギーが消えていることになります。これらのムダを検証してみたいと思います。

「循環の供給温度－戻り側温度」が循環風損失となります。循環ダクト接合部等に熱漏れがないか定期的にチェックすることが必要です。また、循環ファンまわり、循環フィルターまわり、バーナー前後の断熱対策が不十分であることも多いようです。

熱貫流損失の計算は次式になります。

$$\text{熱貫流損失：} Q = \lambda(T1 - T2) / t$$

t: 保温材厚み(mm)、λ: 平均熱伝達率(Kcal/m・h・℃)、T1: 炉内温度、T2: 炉外温度

試算すると、保温材の厚み：t=0.1m(100mm)、平均熱伝達係数：λ=0.05Kcal/m・h・℃、炉内温度：T1=200℃、炉外温度：T2=45℃では、炉体表面からの熱貫流損失は77.5Kcal/m²となります。後はこの数字に炉の表面積を掛け算することになりますので、断熱材の性能もさることながら、根本的対策としては炉のコンパクト化を進めるべきかもしれません。

循環風による損失

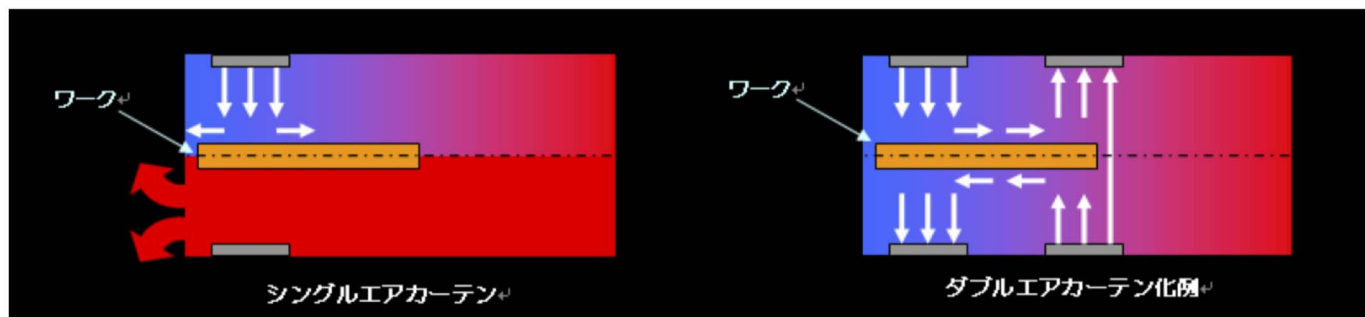
炉内容積が大きいとそれだけ循環風量が大きくなり、熱損失を大きくします。炉のコーナ一部、コンベヤやジグ通過部など、製品加熱に直接寄与しない部分はないか、設計段階と現状の製品サイズが合わなくなり炉の断面積が過大になっていることはないかを確認し、仕切板や仕切ダクト等を設け不要スペースを無くすようにしたいです。

排気損失

溶剤型塗料の場合、一般には爆発下限界の4分の1以下に保たれるように排気されます。プロパンガスによるバーナーでは、12m³/プロパン1kgの空気が燃焼に必要になりますが、一般にはこの燃焼要求空気量が安全必要空気量を上回ります。炉内に持ち込まれる燃焼要求空気量の分だけを排気すれば良いのですが、過大になる分は熱ロスとなります。持ち込まれる溶剤量をきっちと把握して排気量を検証したいです。

エアカーテンからの熱損失

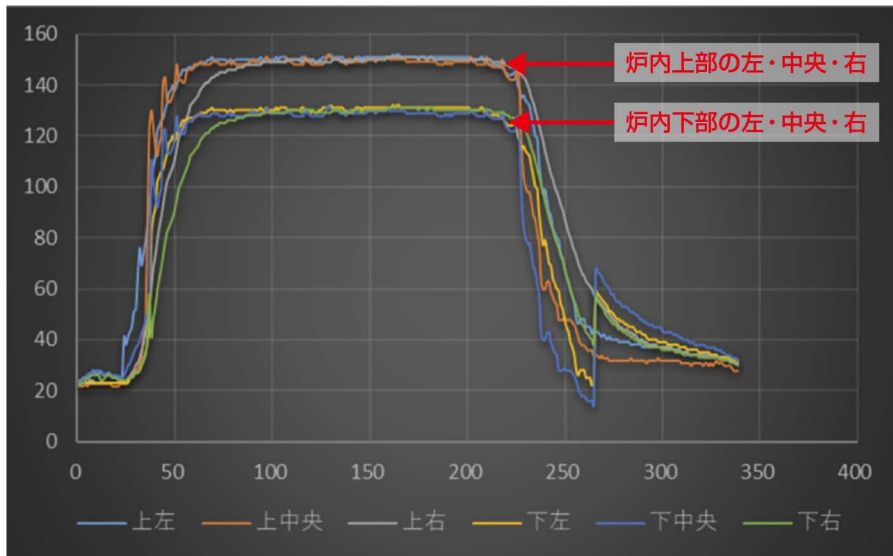
エアカーテンからの熱ロスにも注目したいと思います。炉内の温度上昇によりエアカーテン気流が押し出されていないでしょうか。ダブル化することたいへん効果的です。



このような熱ロスは、炉内の空気温度(雰囲気温度)を3次元的に測定したときに、出入口部の温度低下、上下の温度差、部分的な温度低下などに現れやすいです。設計時にはきちと計算され、適切であったとしても、経年で劣化することは当然予想されます。熱源の負荷率の監視とともに、炉内の製品通過範囲に雰囲気温度測定用熱電対をジグ等に固定して、炉内を通過させて3次元的に測定してください。

加熱乾燥炉のムダを見つける

1. 炉の上と下で温度差がある



炉のメーカーあるいは設計者との打合せが求められますが、以下に考え方のヒントを記させていただきたいと思います。

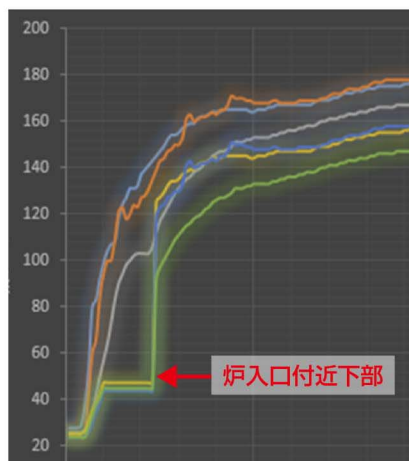
(1) 循環系の異常が考えられます

循環ファンの異常や循環ダクト等に漏れはないでしょうか。循環ダクトは断熱材で覆われていますので、なかなか気づかないことも多いようです。フランジ部などからの漏れがないか、変色などがないか定期的に確認することが必要です。

(2) 断熱不足

炉壁の中に詰められている断熱材は経年により下に落ちてきたり、あるいは外壁パネルに隙間が生じてきたりすることがあります。炉壁の外側の温度の定期的な確認はぜひ実施したい項目です。放射温度計を使用すれば多少離れた場所でも測定できますし、外壁にサーモラベルを貼っておくことも有効だと思います。

(3) エアカーテンの効果の低下



炉入口部の下方の温度が極端に低い場合には
外の冷気が炉内に入ってきていると考えられます。

エアカーテンの循環量不足はないでしょうか？

また、当初予定していた製品と異なり
製品が大型化あるいは長尺化したということはないでしょうか？
その場合には、エアカーテンのダブル化が必要かもしれません。

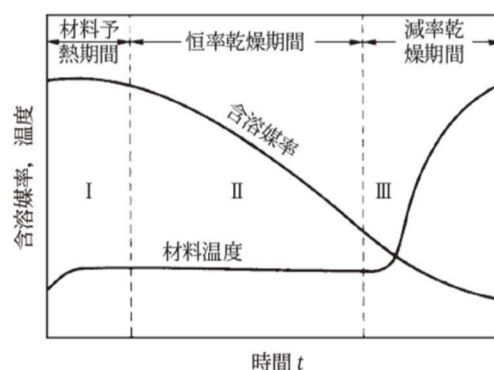
(3) 赤外線炉に特にみられるトラブル

赤外線というと輻射で製品を直接加熱するので、雰囲気温度の影響にあまり配慮がされていない場合があります。しかし、赤外線輻射炉の場合も雰囲気の影響は大きく、伝熱効果の30～50%は雰囲気あるいは対流が担っていると言われます。炉内の上下での温度差は塗膜の硬化状態に影響を及ぼしていることがよくあります。また、石英ガラス内に発生体がある近～中赤外線は別として、遠赤外線の場合は発生体が直接炉内雰囲気温度に接している場合が多くあります。発生体表面の温度の変化は輻射の波長に影響をしますので、例えば立ち上がりの朝と昼ごろでは硬化状態に差が生じてしまっている…ということもあります。

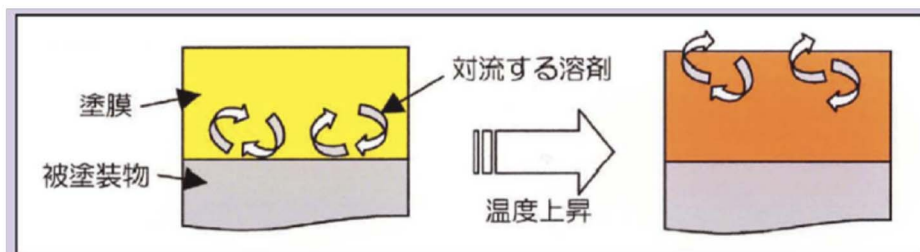
赤外線炉の場合も、炉内空気温度(雰囲気温度)の管理にご留意ください。

熱還流損失

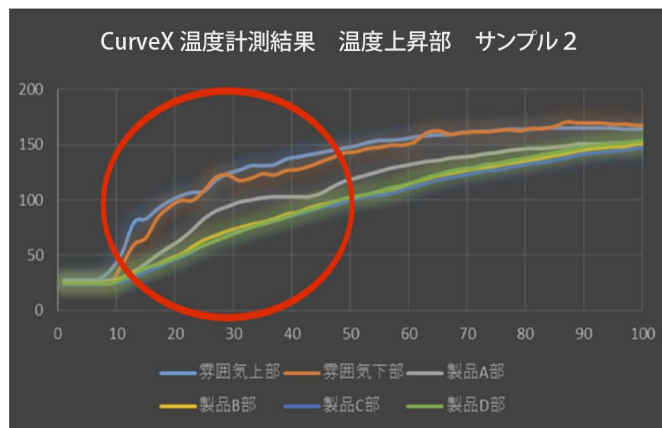
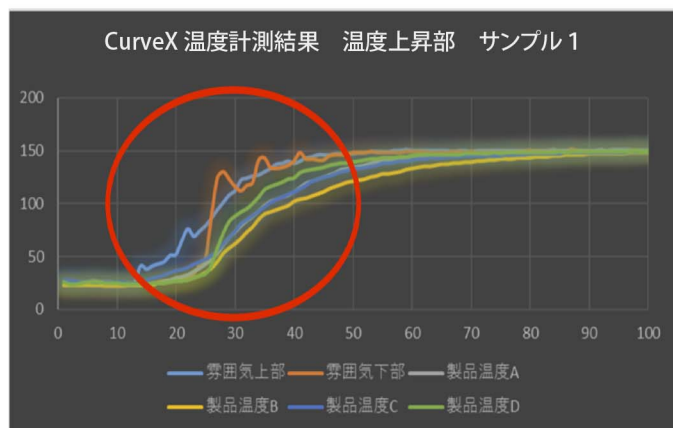
炉が大きく、長いほど、熱還流損失や循環風損失は大きくなりがちです。液状塗料において、塗料→硬化塗膜の過程を見みると、右図の相変化を経ます。塗料はエネルギーが溶剤の蒸発に消費される恒率乾燥期間からエネルギーが反応に用いられる減率乾燥期間を経て、活性化エネルギーのピークとなり硬化塗膜となります。ワキ、発泡といった最も生じやすい外観不良のほとんどは恒率乾燥期間に原因が作られています。消極的な対策としては、溶剤が蒸発する期間の条件を穏やかにすることで。しかし、塗料の乾燥時間が本当に反応に必要な時間の数倍から10倍以上になってしまう要因にもなります。



下図でもう少し詳しく見てみたいと思います。塗膜中の溶剤は表面移行し、塗膜表面から蒸発します。このとき塗膜表面の乾燥が先行してしまうと、溶剤は動きにくくなり移行に時間がかかります。固化した表面層を溶剤が抜けようすると発泡、溶剤が蒸発しないうちに沸点に達するとワキとなります。根本的な原因は塗膜の表面部と深部との温度差にあります。この塗膜の断面温度勾配を大きくしない方策として、「温度を低くする」あるいは「セッティング時間を長くする」が採用されます。ただし結果的に硬化反応に直接関係ない時間＝ムダが増えてしまうことにもなります。



製品温度管理というと、所定温度に対するキープ時間ばかりに目が行きがちですが、塗膜の外観不良や加熱硬化炉のムダを考えると、恒率乾燥期間の温度上昇率を把握することはとても重要です。



恒率乾燥期間の温度上昇率を把握したら、今度はそれが加熱乾燥の所要時間に対してどの程度を占めているかを検討したいです。それが大きな時間割合を占めているようであれば、その部分の効率化を図ることを考えたいと思います。塗膜深部の温度上昇に直接働きかけられる加熱方法との組合せ＝エネルギーミックスの採用や、相変化に伴って加熱条件を変えられるゾーン制御の採用を検討して、効率を上げたいです。

なお、粉体塗料でも、粉体が飛散しにくくなるTg(ガラス転移点)温度に速く到達させ、さらに反応を開始する温度まで迅速に昇温させることが重要になります。