

局所防湿材塗布工程のための自動粘度調合装置の開発

生産本部 生産技術部 林 久樹

1. 取組背景

1.1 塗布工法の動向

イオンマイグレーション^{*(1)}を防止するために車載用プリント基板に塗布する防湿材は、従来のスプレー方式などによる面塗布から、ジェットディスペンス方式（防湿材をディスペンスノズルから微小粒状の液滴を飛ばしてワークに塗布する方式）による局所塗布に代わってきている。その理由は防湿材と乾燥炉の消費電力低減による、カーボンニュートラルを目指した環境負荷の低減とコストダウンである。防湿材は信頼性の観点からは不可欠だが、製品の機能には直接影響しない予防的なもので不要なところまで塗布すると、環境負荷/コストが上がる。また防湿材の乾燥に用いる乾燥炉は、気泡を発生させないように長時間ならだかに実施すると消費電力が上がり、環境負荷/コストが上がる。以上の理由により、塗布が必要な箇所に対してのみ、局所塗布を行うようになった（図1）。



図1 局所塗布（青色が塗布部）

1.2 局所塗布を実現する材料粘度の重要性

局所塗布をジェットディスペンス方式で行うにあたり、対象部品の電極を露出しないように塗布するには、防湿材の量と粘度が非常に重要となる。量が同じで粘度が高い場合は、電極の角部などで防湿材が濡れ広がりず未塗布となる。粘度が低い場合は、濡れ広がり過ぎて塗布したい部品以外へも付着し、エンコーダやコネクタなど接点部品で導通不良を引き起こすなどといった問題が発生することがある（図2）。量管理はディスペンサーの吐出量で管理可能であるが、粘度は都度、原液と希釈剤を混ぜて調合するため、目標調合粘度（以下、目標値）になるように正確に調合するのは容易ではない。そこで、粘度を目標値になるように正確に調合する装置が必要となった。

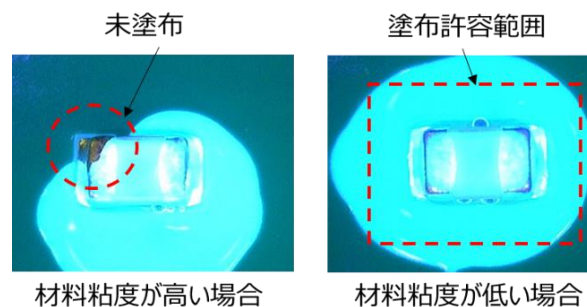


図2 材料粘度の違いによる塗布の広がりの違い

2. 装置開発における課題

2.1 開発の経緯

調合装置は、あらかじめ決めた重量比（配合比）で調合するものが一般的である。これは複数の材料を一定の比率で混合して調合させるものであり、粘度ばらつきが小さい材料に適している。しかしながら、車載用で使用する防湿材の場合、原液粘度が 140mPa・s

～320mPa・sと粘度ばらつきが大きいいため、重量比率で希釈剤と調合しても目標値に調合するのは難しい。原液粘度に応じて希釈剤の量を可変させる必要があるが、市販ではそのような調合装置は見つけられなかった。そこで自社で調合装置を開発することにした。調合装置開発にあたり、材料と調合における課題があった。

2.2 防湿材の課題

防湿材の材料としての課題は以下のとおりである。

- (1)有機溶剤で引火点が低いため取扱いに十分注意が必要になる。
- (2)使用する電気機器は、火災、引火が発生しない本質安全防爆構造（定量ポンプやヒータなど、以下、防爆構造）が必要になり、コストアップにつながる。

2.3 調合の課題

調合の課題は以下のとおりである。

- (1)希釈剤の調合する量を正確に供給する必要がある。
- (2)防湿材は温度によって粘度が変化するため、温度を一定に保つ必要がある。
- (3)調合は現在粘度に応じて希釈剤の供給量を決定し数回に分けて供給する方法で実施するため、現在粘度をリアルタイムに計測する必要がある。使用する粘度センサは超音波振動式を採用しており、測定レンジと測定ばらつきは表1のとおりである（採用理由：調合時のかくはんの影響を受けづらいため）。

表1 粘度センサの測定レンジと測定ばらつきについて

	測定レンジ (mPa・s)	測定ばらつき (mPa・s)
低粘度用	0～100	±1
中粘度用	0～1,000	±10
高粘度用	0～10,000	±100

測定対象の粘度は、原液が 140mPa・s～320mPa・s、目標値が 70mPa・s であり、粘度センサで全てを測定しようとする、中粘度用センサを

使用する必要がある。しかし、測定バラツキが±10mPa・s となり、目標値に対して、精度のよい粘度の計測ができない。中粘度用センサと低粘度センサの2つを用いて用途で切り替える方法もあるが、粘度センサは高価でありコストアップを招く。

- (4)調合作業を繰り返すとその回数分だけ原液と希釈剤の量が増えるため、調合タンク容量内で調合を完了させる必要がある。
- (5)調合タンク内をかくはんする際に、かくはん機が届かないデッドスペース（配管部）が存在する。
- (6)調合終了後に調合タンクを洗浄する必要がある。

3. 調合装置開発の工夫

上記の課題を鑑みて、開発方針は常温で、防爆機器を一切使用しない、国内/海外で容易に使用できる、シンプルで安価な装置開発を目指した。そこで調合のそれぞれの課題に対し、検討を行った。

3.1 材料の供給方法

材料の供給方法について検討を行った。材料（原液・希釈剤）を正確に定量供給するには、定量ポンプが必要になるが、定量ポンプはモータを使用しており防爆構造が必要となり、開発方針に反する。そこで、エアポットの原理で材料タンクにエアを送り込み、タンク内を一定圧に保った状態でバルブを開け、バルブを開ける時間で定量投入するという、エア加圧式定量ポンプを開発した（図3）。これにより定量ポンプを不要とした。

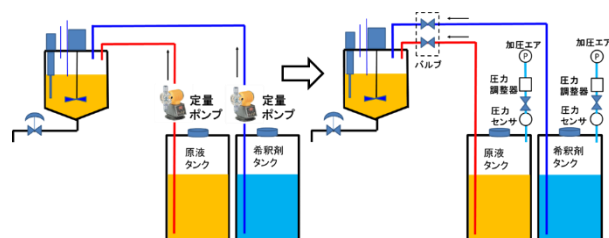


図3 材料の供給方法

3.2 材料の温度による粘度変化補正

材料は温度により粘度が変化するため、調合時に温度を一定に保つ必要がある。温度を一定に保つには、

ヒータが必要になるが、防爆構造が要求され、開発方針に反する。ヒータを用いずに対応するには、調合時の環境温度による粘度変化に追従して調合する粘度の目標値を補正する。環境温度によって目標粘度を補正するには、あらかじめ温度によって粘度がいくつになるかを求める必要がある（図4）。そこで温度と粘度の関係性をマップとして、あらかじめ制御装置（例えばPLC^{*(2)}など）に記憶し、調合時に材料の温度をリアルタイムに計測、計測した温度から目標値を再設定することにした。これにより温度変化による粘度変化に追従することができ、ヒータを不要とした。

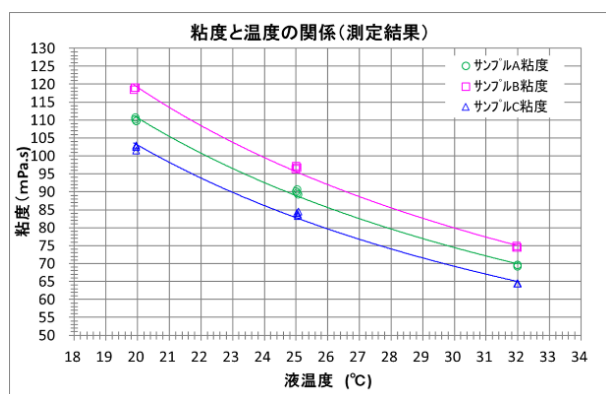


図4 粘度と温度の関係

3.3 粘度センサを使用しない原液粘度測定

調合時の現在粘度（以下、現在値）により希釈剤の供給量を随時調整するため、現在値を正確に測定する必要がある。しかし、原液粘度は中粘度用領域、目標値は低粘度用領域にあるため、同じ中粘度センサを用いると目標値での精度が足りなくなる。複数の粘度センサを用いて用途で切り替える方法もあるが粘度センサは高価でありコストアップを招いてしまう。そこで、原液を低粘度用領域まで一気に希釈（粗調合）し、目標値付近（精密調合）でのみ、精度の高い低粘度センサを使用することにした。また原液粘度は粘度センサを使用せずに粘度を推定する方法を考案した。

具体的な実施方法は以下のとおりである（図5）。

- ・調合タンクに一定量の原液を投入
- ・原液投入時間から原液の粘度を推定（供給経路/原液タンクから材料を押し出す圧力が同じ場合、投入時間は原液粘度に比例する）
- ・推定粘度から必要な希釈剤の量を決定

- ・原液に希釈剤を投入し、低粘度センサで測定できる領域まで一気に希釈
- ・目標値付近で低粘度センサを使用

上記のことで原液測定用の粘度センサが不要となり、精度のよい粘度測定ができるようになった。

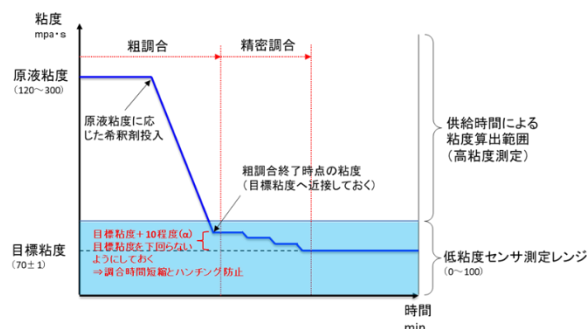


図5 調合シーケンス

3.4 PID 制御によるバッチ式プロセス調合

限られた容量の調合タンクで調合を完了させる必要があるバッチ式プロセス^{*(3)}調合の場合、目標値に合わせるためにハンチング^{*(4)}が発生すると調合タンクはオーバーフローしてしまう可能性が高くなる。そこで、PID^{*(5)}制御を追加し、測定値と目標値の偏差から希釈材の正確な供給量を求めた。これにより精密で早い粘度調合を行うことが可能になった。（図5）

3.5 デッドスペース（排出パイプ）のかくはん

調合タンクでのかくはんは、エアモータ式の羽根が付いたかくはん機を使用している。調合タンクに接続されている排出パイプはかくはん機の羽は届かないため、かくはんできないデッドスペースとなる。原液を投入すると排出パイプ内に粘度の高い部分が滞留してしまうため、調合完了後に調合タンクから液を排出する際、排出パイプ内の高粘度材料が排出されてしまい、防湿材の粘度が変わってしまう。配管を無くすことは困難であるため、排出パイプ内をかくはんする方法を検討した。配管口径より小さい羽根を作ってかくはんできないか検討したが、配管内では羽根の回転軸を固定することが困難で、回転中に材料抵抗で羽根が配管に接触して、金属屑の材料への混入の危険もあり不採用とした。かくはん機を使

用しないほかの方法を探している中、お風呂の浴槽に泡を発生させるジェットバスからヒントを得て、排出パイプ内にエアバブルを送り込むことによりかくはんする方法を考案した。単純にお風呂のジェットバスを真似ても材料の中に大量の気泡が混入してしまう。そこで、微小エアを断続的に打ち込むことでエアの塊でエアが配管内を移動し、移動した空間に材料が回り込んで埋めることでかくはん効果を得る。これにより排出パイプ内をかくはんすることができ、問題解決することができた（図 6）。

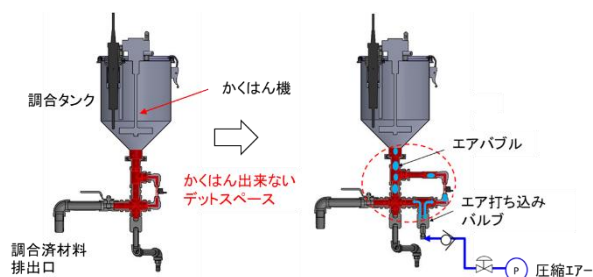


図 6 エアバブル式かくはん

3.6 調合タンクの洗浄の自動化

調合タンク内に付着した材料をそのまま放置すると、調合タンク内壁やかくはん羽根に付着した材料が、硬化して詰まりや異物付着などの原因となる（図 7）。

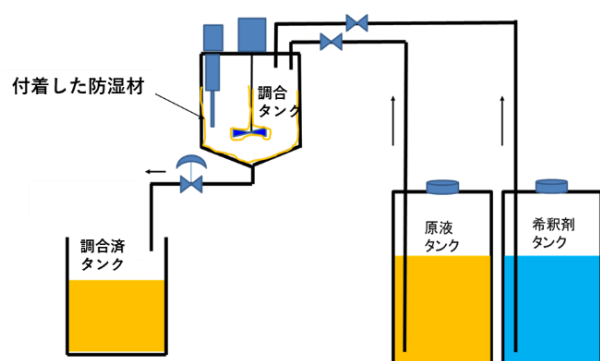


図 7 調合後の調合タンク

そのため、調合後はすみやかに調合タンクを洗浄する必要がある。しかし調合タンクは容易に取り外せるものでなく、丸洗いすることができない。そこで、人に頼らず自動で洗浄する方法を検討した。

洗浄に使う洗浄剤は、専用の洗浄剤を使うと材料への混入などの問題が発生する懸念があるため、洗浄剤として希釈剤を使用することにした。

調合タンクの洗浄方法として、タンク内へ希釈剤を吹き付ける洗浄方法では専用機器が必要となり、また死角なく洗浄するのも困難である。そこで、調合タンク一杯に希釈剤を注入して、かくはんする洗浄方法を考案した。この方法により専用の洗浄機器を必要とせず、死角なく洗浄ができるようになった。

しかし上記方法では洗浄時に毎回、調合タンク容量一杯の廃液が発生するため、環境的にも、コスト的にも負担が大きい。廃液は、一度使用した程度では廃液全体に占める原液の含有量はわずかであり、再利用が可能であるため、廃液を再利用することにした。廃液を再利用するために、調合タンクの直下に洗浄剤タンクを配置し、洗浄時は洗浄剤タンクを加圧することにより、調合タンクへ廃液口から逆流させ充填する方法を考案した（図 8）。この方法は配管内部も十分洗浄が可能となるメリットもある。また洗浄後は洗浄剤タンクに廃液を戻すことで再利用する（図 9）。

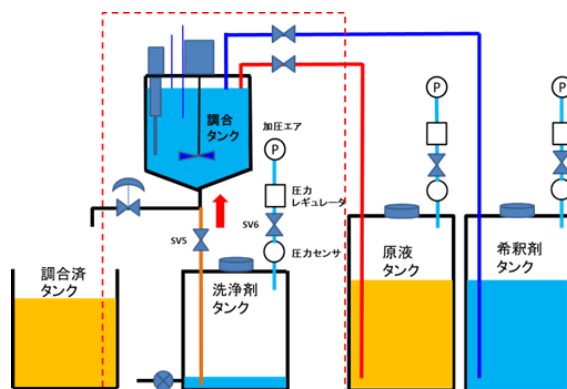


図 8 洗浄液充填

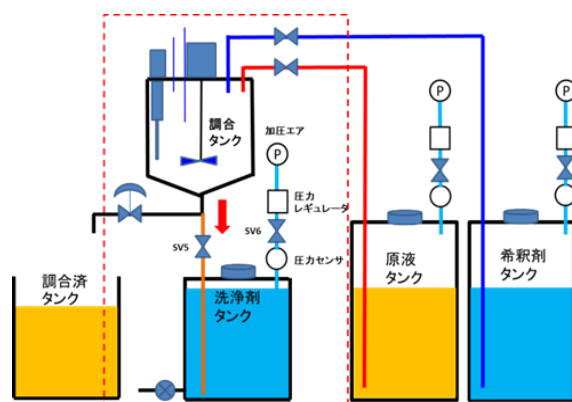


図 9 洗浄液戻し

廃液の再利用については、洗浄液の汚れ具合（原液の含有量が増えると粘度変化として現れる）から廃液の利用可否を判断する方法を考案した。これにより調合タンクを効率的に洗浄することができるようになった。

このようにして課題を解決していき、調合から洗浄まで全自動化した粘度調合装置の開発ができた（図10）。

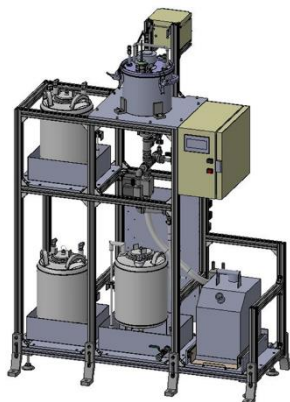


図 10 完成した自動粘度調合装置

4. まとめ・今後の展開

本稿では、車載用プリント基板に防湿材をジェットディスプレイス方式で局所塗布するために重要な防湿材粘度の調合に着目し、全自動の粘度調合装置の開発を行い、当初の開発方針にあるシンプルで安価な装置の開発をすることができた。これにより防湿材の調合粘度の精度向上と、付帯作業（製品の機能には直接影響のない、材料供給や段取りなどの作業）の工数削減をすることができ、有益な開発であったと考える。

モノづくりにおいて、このような付帯作業部分の手付かずの領域がまだまだ存在する。今後は、生産ラインなどの直接的なモノづくりの領域だけでなく、作業する人の助けになる付帯作業部分領域に対しても技術開発を行っていきたい。

- * (1) イオンマイグレーション
水分（湿度）が多い環境条件で電圧を印加すると、配線パターンの金属がイオン化して電極間が短絡する現象。
- * (2) PLC
Programmable Logic Controller
- * (3) バッチ式プロセス
調合タンクごとに調合を行う、少量生産向きな製造プロセス（対比として連続式プロセス）
- * (4) ハンチング
目標値付近で上下を繰り返し安定しない動作
- * (5) PID
フィードバック制御の一種