

電着浴監視システムの開発

A development of the managing system for controlling and monitoring the characteristics of electro-deposition coatings



SP 研究所
信藤健一
Kenichi
Nobutoh



技術企画部
鈴野 純
Jun
Suzuno

1. はじめに

電着塗装は1960年代に工業用塗装として実用化され、その後、構造部分などの内部につきまわる特性を生かして自動車ボディーのプライマーとして使われてきた。その他の分野においても工業用塗装として広く使われており、近年では電子部品などの製造工程においても採用されている。初期の頃には、陽極に析出するアニオン電着塗装が主流であったが、その後1970年代終わりに、陰極に析出するカチオン電着塗料が開発され、自動車車体の防錆力向上に大きな役割を果たしてきた。現在ではその多くにカチオン電着塗装が採用されている。

また、電着塗料は、塗料の80%近くが水で構成されており、溶剤を2-3%程度しか含まず、塗装工程での有機溶剤の揮散も少なく、限外ろ過液の洗浄水を本槽に戻すことにより100%近い回収率を実現しており、近年の環境問題を解決する究極のエコ塗料であるといえる。しかしながら、電着塗装は、スプレー塗装などの他の塗装方法と異なり、水中に分散した塗料樹脂を電極反応によって凝集、析出させるため、実際に塗装される塗膜中の成分は、塗料槽(浴)中塗料が、析出・分離した成分であるため、塗装を行うことで順次、浴中の塗料構成成分の比率が徐々に変化する。このため、安定した電着塗装特性を維持するためには、余分に持ち出されて不足した成分を補い、蓄積した成分を廃棄、または補給を抑制することによって塗料の各成分を一定の管理幅に保ち安定させることが必要になる。

これを実現するために、一般の電着塗装ラインでは、定期的に浴塗料をサンプリングし、実験室で種々の浴特性、電着特性、溶剤などの分析を行い、補給塗料、添加剤などを調整することにより特性の維持を行っており、これを一般に浴管理と称している。浴塗料のサンプリング間隔は、塗装量によって異なり、大量に塗装するラインでは1週間に2回以上、少量のラインでは1ヶ月1回くらいのサンプリングである。しかしながら、大量に塗装を行うラインでは、塗料の組成変動も早く、特に遠隔地に塗装ラインがある場合、浴管理により変動を検出したものの、実際のラインの変動は更に進んでしまっており、塗装不良の原因となる場合がある。

近年グローバル化により、工業ラインは世界規模で拡大しており、遠隔地の電着塗装ラインの維持管理を困難にしている。また、インターネットなどの通信インフラはここ2-3年爆発的に拡大

し、従来は考えられ無かったような地球規模でのデータ通信を容易にしている。本システムは、インターネットネットワークを使用し、世界規模で電着塗装ラインの状態をリアルタイムに収集、監視するためのシステムである。

2. 電着浴管理に必要な管理項目

電着浴を一定の水準に維持し、電着浴の状態を定量的に把握するため、一般にいくつかの管理項目が設定されている。管理項目は大きく分けると主として分析的な手法を用いて行う浴特性と、実際に電着塗装を実験室で行って測定する電着特性に分類される。前者の項目としてはPH、比電導度、灰分、加熱残分、溶剤量、MEQ(中和剤の固型分に対するミリグラム当量)、挟雑イオンなどがあり、また、後者は電圧-膜厚、クーロン収率、塗膜分極、つきまわり、その他作業性などが主なものである。遠隔で浴監視を行う場合、上記項目をインラインで安定して長期間計測できることが重要であり、これらの項目の中にはMEQのように塗料を滴定することによって凝集させる破壊測定に近いもの、溶剤量、挟雑イオンのように前処理の必要な分析機器を必要とするものがあり、これらについてはインラインで長期間安定に測定することは容易ではない。また、電着特性は、実際に塗装作業を自動で行う必要があり、塗装ロボット¹⁾なども考えられるが、無人での長期間の運転には不安が伴うため、インラインで使用できる代換え特性を見出す必要がある。

今回の監視装置では、上記の項目のうちPH、比電導度、灰分、加熱残分の各項目をインラインで長期間安定して測定することを目的として開発を行った。灰分、加熱残分については通常の方法ではインライン計測を行うことはできないが、本システムでは高精度の密度計、超音波音速計を用い、これらの測定結果から、灰分、加熱残分を導き出している^{2),3),4)}。これらの特性だけでは完全にラインを管理するには充分なものではないが、通常の浴管理の補助手段として用い、総合的に浴管理精度を上げ、突発的なライントラブルに対処する上では非常に有用であると考えられる。

3. センサー類

上記の特性を測定するセンサー類は、通常の浴管理の中で既に日常的に使用されているものである。しかしながら、実験室で

使用されているセンサー類は、常に人間の手によって洗浄、保守が可能であることを前提としており、本システムのように、無人で、連続的に測定を行うことについては考慮されていない。また、世の中には自動洗浄を行うようなセンサー類もあるが、本システムが実際に生産を行っているラインに接続されて使用されることを考えると、万が一にも機械の誤動作により浴塗料にダメージを与えたり、浴塗料が流失したりするようなことはあってはならない。

使用するセンサー類は、ユニットの形で配管を用いて接続し、そこに浴塗料を導入して測定する形態を考えた。(図1、写真1)

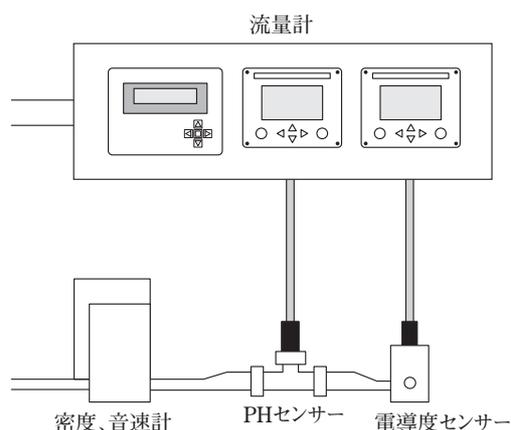


図1 本システムのセンサーダイヤグラム



写真1 センサーラック外観

3.1 PHの測定

電着浴塗料のPHは塗料の安定性を示すパラメーターのひとつであり、主に中和剤のバランスが崩れることにより変動する。中和剤バランスの変動はそのまま電着特性に影響を及ぼし、大まかにはあるが電着特性の判断基準にもなりうる。最近では半導体を用いたPH電極も開発されているが、精度の問題で従来からガラス電極が使用される場合が多い。PHは H^+ と OH^- の濃度の比で表され、試料中で水素イオンに可逆的に応答するガラス電極の膜電位と銀-塩化銀電極のような比較電極との電位差を測定することにより求められる。

電着塗料のPHを測定する場合、最も障害になるのが塗料による電極の汚染である。ガラス電極はその表面に塗料が吸着、付

着することにより感度が低下し、また、比較電極は、通常ピンホール、セラミック栓、から電極内部のKClが染み出すことにより、または、塩橋などによりガラス電極との電気的なコンタクトを保っている。しかし電着塗料は塩類で凝集しやすい特性があり、電着塗料中に比較電極を浸漬することにより、塗料が液絡部で凝集し塗料による閉塞が発生する。そのため、測定系のインピーダンスが著しく増加して計測不能になる。実験室の場合では、測定の都度電極を洗浄することにより、安定した測定値を得ることができる。しかしながら、無人で長期間安定した測定を行うためには汚染の問題は深刻である。少なくとも1年くらいは電極のメンテナンスをせずに計測が行える必要がある。本システムで用いるPHセンサーは、上記のような汚染による劣化を回避するため、以下のような工夫を行っている。

ガラス電極については従来球状のものが多く使われていたが、本システムでは電極面が平らなものを採用し、電極面を配管周辺で流れと平行に配置することにより、流れによる洗浄効果を得ることができるようにした。(図2)

また、比較電極はセラミックによる液絡部の面積を従来の数十倍のものを使用し、塗料凝集による液絡部の物理的な閉塞を遅らせている。(写真2)

これにより、1年間程度は汚染による劣化をすることなく、PHの測定を行うことができる。

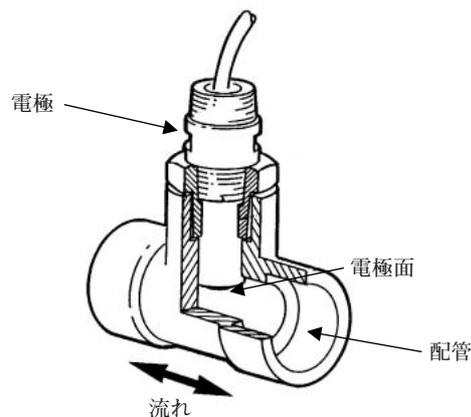
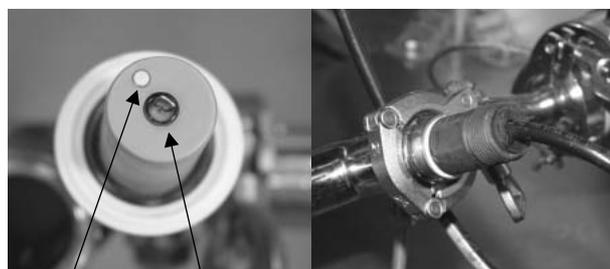


図2 PH電極の配置図



ガラス電極部
流れに平行になるように加工されている。
セラミック製ジャンクション
流れに対して平行で、洗浄がされやすい。
接液部の径が6mmと大きい。

写真2 PHセンサー

3.2 比電導度の測定

比電導度は定電圧で電着塗装を行う場合、電着特性に影響を与える重要なパラメーターである。また、比電導度の低下は袋部などにつつまわる、つきまわり性に大きな影響を与える。その他イオン交換隔膜によって塗装時に発生する中和剤を分離廃棄するが、この隔膜のもれ、破れなども比電導度を計測することにより検出することができる。

従来の浴管理では、比電導度は1対の白金黒電極の間を電着塗料で満たし、その電極間のインピーダンスの実数成分を求めることにより測定を行っている。これは一般に電極法といわれ、非常に広範囲の比電導度を純水に近いものまで正確に測定できる。しかしながら電着塗料を測定する場合、上記のPHと同様に塗料による汚染の問題が付きまとう。電極法は、既知の電極面積と、電極間距離で測定したインピーダンスから比電導度を測定するため、汚染により電極面積が変化すれば、これはそのまま測定誤差となって現れる。このため、浴管理を行う際も、電極の洗浄を行っても汚染による電極の劣化は避けられず、定期的な標準液による校正を行った上で、6ヶ月程度で電極の交換を行っている。このため、電極法による比電導度の測定は電着塗料のインラインで行うことはできない。本システムでは、電極法によらず比電導度を測定する、無電極式電磁誘導導度計を採用した。

(写真3、図3)

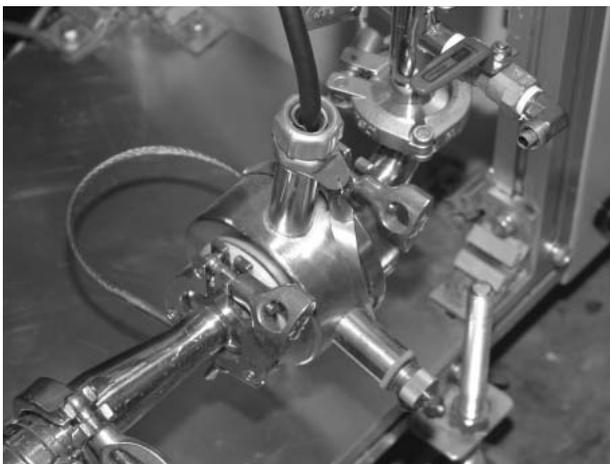


写真3 無電極式電導度計

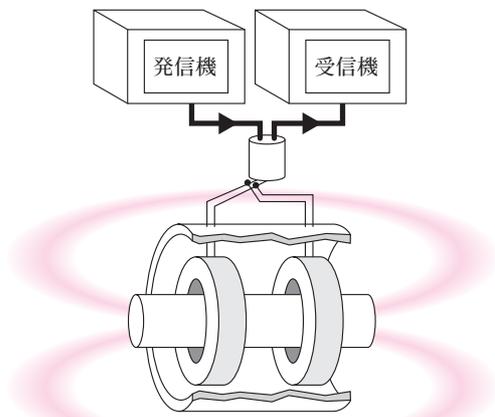


図3 無電極式電導度計の原理

この比電導度計は電極を持たず、1対のコイルの一方に交流を流し、もう一方のコイルに誘導される電流を測定することによりコイルの間を満たしている液体の比電導度を測定する。原理的に純水のような比電導度の極端に小さいものは測定できないが、電着塗料の比電導度は1000～3000 μ S/cmであり、この比電導度計を使用するのに適している。また、この比電導度計は電極法のように汚染による特性の劣化が無く、ほぼメンテナンスフリーで取り扱うことができる。ただ、インラインで測定を行う場合、ドーナツ状のコイルを配管内に入れる必要があり、このため相当な配管内の圧力損失を生じ、流速低下により塗料がコイル内に沈降しコイル口径が減少して測定値が変動する恐れがある。本システムではこのような現象を避けるため、配管の外側にコイルを配置したものを使用しており、配管内の流速をある程度以上に保持しておけば経時による劣化はないといえる。

3.3 灰分、加熱残分の測定

加熱残分、灰分は浴管理を行っていく上で塗料の補給量を管理するために非常に重要な管理項目である。一般的な工業ラインでは、被塗装物の塗装数をカウントし、一定の台数ごとに決められた量の塗料を補給しているが、常に加熱残分を測定して補給量を調整する必要がある。また、加熱残分の変動は電着特性に重要な影響を与え、灰分の上昇はライン内での塗料沈降の要因となり、完成塗膜の品質低下、塗膜性能低下に繋がる。

本来加熱残分は塗料を120℃で1時間乾燥した後の残分であり、灰分は加熱残分を灰化するまで焼却した際の残分である。このためこれらの特性を得るためには、結果が出るまで長時間を要し、この方法そのものではインライン計測は行うことはできない。本システムでは、9水準の加熱残分、灰分既知の塗料の密度と音速を精密に測定することにより多項式の検量線を求め、塗料の音速と密度から加熱残分、灰分を推定する手法を用いた。インラインでの音速の測定は、発信した音響信号の遅れ時間から、密度は塗料をU字管内に導入し、U字管の共振周波数を求めることにより求めている。加熱残分は音速と密度に比例し、灰分は密度に比例し、音速に反比例する。また密度の測定値は配管内のレイノルズ数の影響を受けることがわかっており、適切な流量を保持する必要がある。この方法によって求めた加熱残分は上記測定方法の $\pm 0.1\%$ 以内の精度で、灰分は $\pm 0.3\%$ の精度で測定することができる。(図4、図5)

ここで計算に用いる検量線はターゲットの塗料に固有のものであり、塗料品種が変われば取り直す必要がある。

4. システム概要

本システムは大きくラインサイドシステムと、データ収集を行うセンターシステムとに分けられる。(図6)

ラインサイドシステムは上記のセンサーで構成され、配管に浴塗料を導入し、配管中に配置されたセンサーを通過する間に浴特性を測定し本槽に戻される。測定されたデータは演算処理が行われた後、あらかじめ決められたフォーマットでデータが埋め込まれ、センターシステム宛てに送信される。

センターシステム側では、送られてきたデータから、測定された

新技術

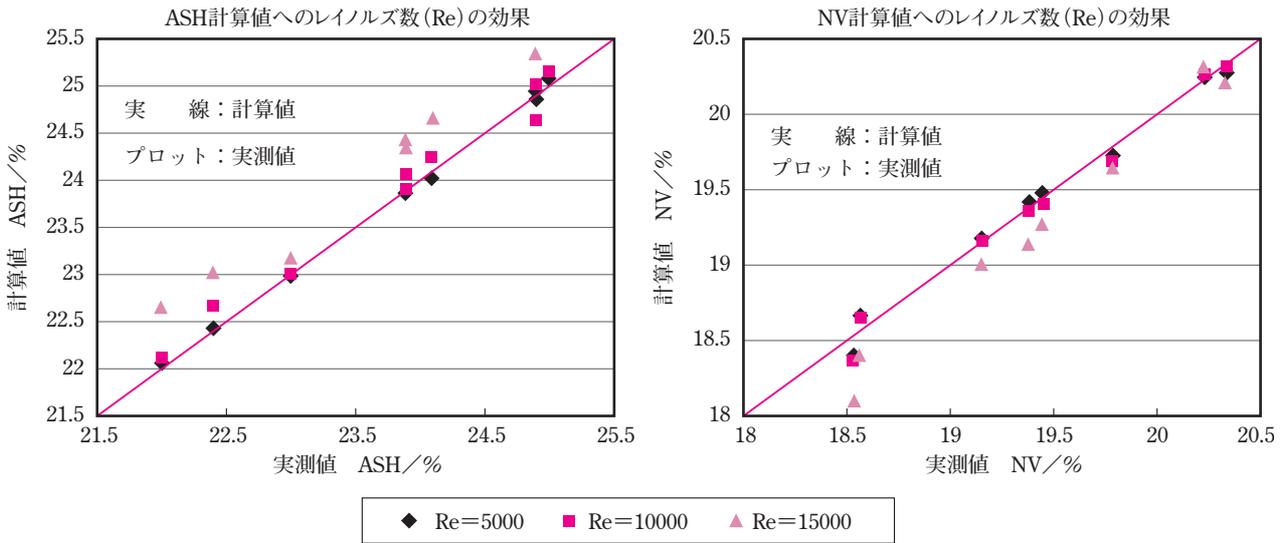


図4

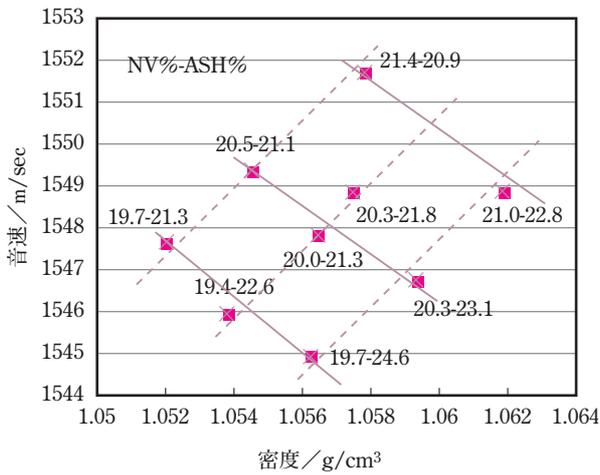


図5 NV、ASHと音速、密度の関係 (28°C)

各データを抽出し、データベースに時系列で測定データを書き込む。書き込まれたデータは時系列グラフとして、ユーザー側から一般的なWebブラウザをつかって閲覧することができる。また、管理幅を設定することにより、設定値から逸脱した場合指定された管理者宛てに、電子メールで警告文を送信する機能を持っている。

5. 本システムの特徴

本システムの機能的な特徴として、連続測定、測定データの蓄積・閲覧、及び警告の自動発信が掲げられる。これらの特徴に基づき、その効果について以下に述べる。

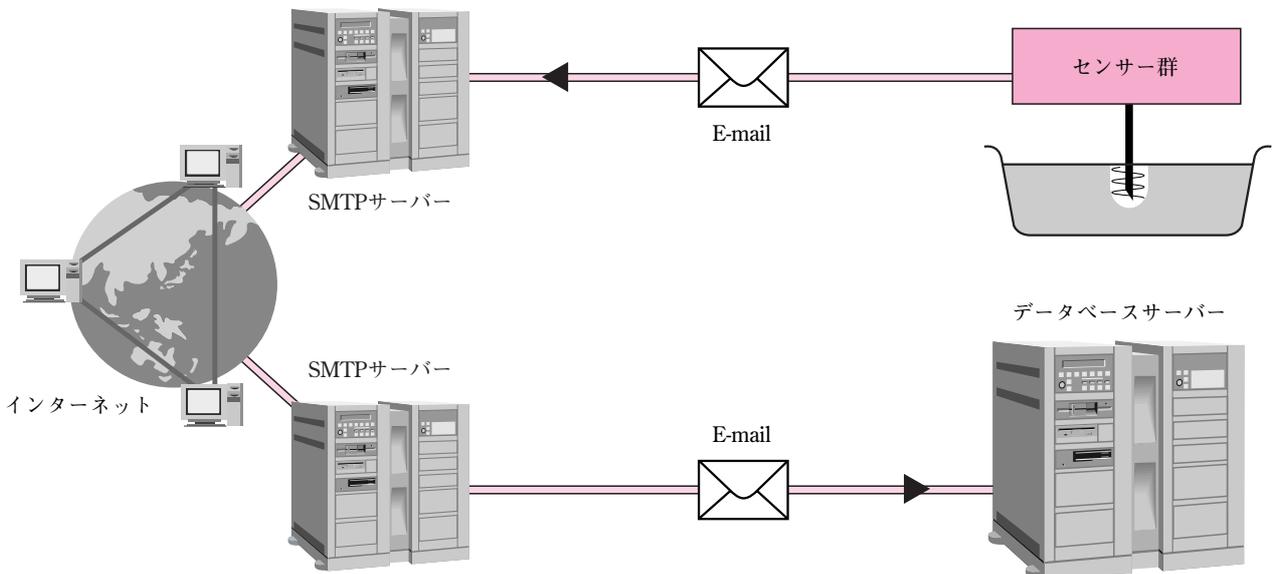


図6 センサーからの自動入力

5.1 連続測定

測定においては、上述されている通り、各センサーのメンテナンス性は、高いものを使用している。メンテナンスフリーで1年程度の連続運用が可能である。また、配管からの引き込み型（図1）形態を取り、浴塗料への影響を最小限に抑え、連続測定とメンテナンス性を備えている。通常浴管理のサンプリング間隔は、1週間に2回以上から1ヶ月に1回程度である。サンプリング間隔の長いものは、現在の浴塗料状態を把握するのは、難しいと考えられる。また、サンプリング間隔の短いものでも、サンプリングした塗料を運搬した後実験室で測定しているため、特に遠隔地にラインがある場合、結果がわかるまでの時差は解消できない。しかしながら、本システムの導入により、これらの問題は解消されると考えられる。サンプリング間隔に関しては、配管からの引き込み型で連続測定を行っているため、各センサーのデータ収集間隔となる。本システムは、実用性はともかく最短で1分間隔にてデータ収集を行うことが出来る。この間隔は、サンプリング→送付→実験室での測定、というようなサイクルに比べ、格段の高頻度測定回数である。測定結果の判明するまでの時差の解消により、現在の浴塗料の状態を把握することが可能となる。これにより、トラブル防止やトラブルの予防管理に役立つと考えられる。また、測定結果の判明までの時差が存在するため、今までは、本システムで測定している特数値を日々の品質管理に適用するには、サンプリング回数の増加による対応や人手によるラインサイドでの定常的な監視などの対応が必要であった。本システムでは、時間・日間・週間での変動が自動で把握できるため、より安定した運用と、ラインサイドでの管理の省人化に道が開けるものと考えられる。

5.2 測定データの蓄積・閲覧化

本システムでは、塗装時の特数値データが逐次蓄積され、時系列で閲覧可能となり、データは、システムの設定により、一定期間の保有・閲覧が可能である。データを記憶媒体に移行することにより、デジタルデータとして塗装時の特数値が半永久的に保管・保存が可能となる。このような特徴は、塗装完了後、製品化された後のトラブル対応において有効な手段になりうると考えられる。

通常、塗装完了後のトラブル発生時においては、その原因究明のため、現状の浴塗料と控えサンプルの調査が行われ、問題の原因が塗料にあるのか、塗装条件にあるのか、あるいは、他の要因なのか、問題の切り分けが行われ、対策が取られる。本システムを活用することにより、トラブル発生後、即時に現在の浴塗料の特性値がわかると同時に履歴データの閲覧により、指定時刻の特性値を閲覧することが可能である。現状と塗装時の特性値を早い段階で把握することにより、早期の問題解決に寄与できるものと考えられる。特に、本システムが有用であると思われる場合は、塗装完了後、長時間経過した場合にある。先に述べたように、トラブルの発生が塗装完了後、間もないときは、異常ロットの控えもあり、また、特数値の追跡も行いやすいと考えられる。しかしながら、ある程度の時間が経過すると、塗料の貯蔵保証期間も過ぎ、控えサンプルも廃却される。さらには、保存されている履歴データから、当該のデータを探し出すことは、容易ではない。本システムは、データをデジタル化することにより、保存と検索を容易にしてあり、適宜適切な対応を可能としている。

5.3 警告の自動発信

本システムにおいて、今まで述べてきた2点（連続測定、測定データの蓄積・閲覧化）だけでも有用である。しかしながら、このままでは、データを逐次収集して、整理を行っているだけであり、その整理したデータを積極的に活用しているとは言い難い。これらのデータをより有効に利用するシステムが、警告の自動発信機能である。本システムは、逐次測定データをデータベースに登録し、Webブラウザで閲覧可能な状態にしている。データベース登録時にデータのチェックを行い、設定閾値の範囲外である時に警告を発信している。従来のラインサイドでの監視、定期サンプリングによる日常点検においても異常を発見し対応することは可能であるが、遠隔地や就業時間外等に直ちに異常を発見することは難しい。本システムでは、インターネット、WAN、LANを利用して警告の発信が可能である。そのため、24時間監視対象ラインの設置場所にかかわらず、会社・自宅のPC、携帯電話などで警告の受け取りが可能である。これより、早期のトラブル対応や適切な警告発信の閾値を設定することで、トラブルの予防管理が可能となる。

6. おわりに

従来の実験室での手作業による浴管理という作業が、本システムを導入することによって完全に取って代わるものではないであろう。しかしながら、工業のグローバル化によって電着塗装ラインが世界的に拡散している現在、近年爆発的に発展したインターネットワークインフラを利用し、浴塗料管理という電着塗料の付加価値の質を向上し、より精密な管理、トラブル時の迅速な対応、的確な予防管理により顧客満足度を上げ塗装品質の向上に繋がるものであると確信している。

参考文献

- 1) 特開 2002-129389
- 2) 特開平 5-52882
- 3) 特開平 3-112897
- 4) 菊田真人、寺沢秀夫：塗料の研究。No115、61-66 (1988)