

泡塗工による乾式不織布への機能性粉体の複合化

高橋雅樹 西田典由

Preparation of Functional Powder-Supported Nonwoven Fabrics with Form Coating Method

TAKAHASHI Masaki and NISHIDA Noriyoshi

平成 19 年 3 月に新規導入したロータリースクリーンコーターは、付属するフォームプロセッサーにより、塗料や薬品を空気と混合攪拌し、泡状態で塗工できることが特徴である。本研究では、この泡塗工技術を利用し、機能性粉体の有する機能性を阻害しない状態で、乾式不織布に複合化する技術開発に取り組んだ。水系ウレタン樹脂エマルジョンを主体に、微細繊維状バインダー・起泡剤・増粘剤を配合した塗料に、さらに吸放湿機能を有するシリカゲル微粉体を添加し、フォームプロセッサーによる起泡処理を行った。同塗料を乾式不織布に塗工した場合、多孔状皮膜構造を形成し、シリカゲル微粉体の吸放湿能の低減を抑制できた。

キーワード：不織布、複合化、機能性粉体、塗料化、空気混合攪拌、泡塗工

はじめに

日本の不織布産業では、中国をはじめとするアジア諸国の台頭を視野に入れ、独自の技術力を活かした製品開発の重要性がますます高まっている。そうしたなかで、不織布の 2 次加工による機能性の付与及び他の素材との複合化は、付加価値の高い不織布の製品開発において有望な手段である¹⁾。

不織布の製品開発は、「各用途で要求される機能性をいかに不織布に付与するか」、あるいは「不織布の有する構造的・性能的特徴を活かせる用途は何か」という方針で行われる²⁾。乾式不織布の一般的な構造的特徴は、「繊維状多孔構造」と「嵩高性」であり、不織布の 2 次加工においては、これら不織布の構造的特徴に伴う技術上の特殊性が要求される。コーティング加工は、コーティング剤の処方などにより多種多様な機能性を不織布に付与することが可能であるが、コーティング剤の基材への浸透度を制御することが、加工処理後の外観や機能に大きく影響を及ぼす重要な技術要素である³⁾⁴⁾。

既報⁵⁾では、乾式不織布へのコーティング加工において、コーティング剤の基材への浸透度を制御する技術として、コーティング剤への空気混合攪拌による起泡処理技術に取り組んだ。その後、当センターでは、泡コーティング加工のテスト機である「ロータリースクリーンコーター」（図 1、辻井染機工業(株)製）を導入し、実機レベルでの泡コーティング加工が可能となった。

本研究では、泡コーティング加工技術を利用し、乾式不織布への機能性粉体の複合化技術に取り組んだ。一般に、バインダー樹脂により機能性粉体を不織布基材に担持させる場合には、使用する樹脂が粉体の表面を被覆し、粉体の機能性を阻害することが懸念される。そこで本研

究では、泡状態のバインダー樹脂及び微細繊維状バインダーの利用技術を検討し、吸放湿性を有するシリカゲル微粉体の吸放湿性能を阻害することなく、乾式不織布に複合化する技術開発に取り組んだ。



図 1 ロータリースクリーンコーター

実験方法

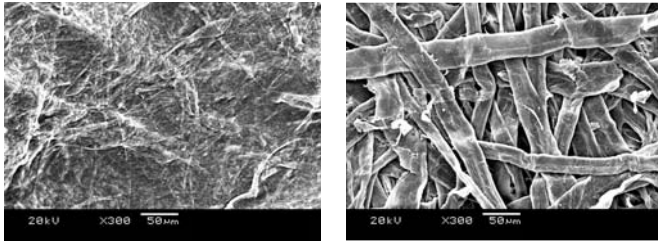
1. 実験材料

(1) 塗料

主体塗料は、市販のウレタン樹脂エマルジョン塗料を使用した。塗料の物性は、非イオン型で、固形分濃度 50wt%、平均粒径が $1.60 \mu\text{m}$ である。さらに、塗料の発泡処理を行うための添加剤として、起泡剤（ステアリン酸アンモニウム水分散液、固形分濃度 30wt%）、及び増粘剤（カルボキシメチルセルロースナトリウム、固形分濃度 5wt%）を使用した。

また、ウレタン樹脂の使用量をより低減するために、マイクロフィブリル化セルロース(MFC)であるセリッシ

ユ KY-100S (ダイセル化学工業㈱製) を、微細繊維状バインダーとして使用した。図2に、セリッシュ KY-100S 及び針葉樹クラフトパルプの走査型電子顕微鏡写真を示す。セリッシュ KY-100S は、針葉樹クラフトパルプに比較して非常に微細な繊維であり、繊維長分布測定装置 (KajaaniFS300:メツォオートメーション社製) による測定では、数平均繊維長 170 μm 、繊維幅 15 μm であった。



a) セリッシュ KY-100S b) 針葉樹クラフトパルプ

図2 微細繊維状バインダーほかの走査型電子顕微鏡写真

上記の材料で構成する塗料により、不織布基材に複合化する機能性粉体として、本研究では吸放湿機能を有するシリカゲル微粉体を使用した。シリカゲル微粉体は、表1に示す和光純薬工業㈱製のカラムクロマトグラフ用で、粒径の異なる5種類を使用した。

表1 実験に使用したシリカゲル微粉体

品名	粒径 (μm)
Wakogel C-100	150~425
Wakogel C-200	75~150
Wakogel C-300HG	45~75
Wakogel C-400HG	20~40
Wakogel C-500HG	5~20

(2) 基材

塗工用基材である乾式不織布は、市販のエアスルー方式によるサーマルボンド不織布を使用した。主体繊維はポリプロピレンで、目付 70g/m²、厚さは約 2.5mm である。

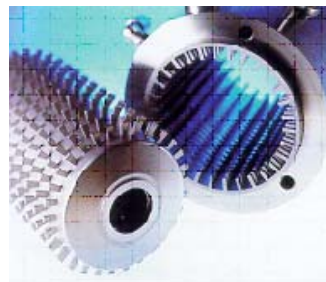
2. 塗料の起泡処理

塗料の起泡処理には、図3に示すロータリースクリーンコーター付属のフォームプロセッサーFP-3を使用した。図3a)にフォームプロセッサーFP-3の内部を示す。起泡処理を行う①塗料または薬品は、②モノポンプ(一軸偏心ネジ式ポンプ)により装置内に吸引導入され、③フォームジェネレーター部分で所定量の空気とともに機械的に強撹拌されることで泡状態になり、④ホースでロータリースクリーンコーター本体へ供給される。図3b)に示すフォームジェネレーター内部は、中心部で回転するローターと外部ケーシングのステーターから構成され、ローター・ステーターの両表面に存在する多数のピンにより強力な剪断力が発生し、流入する塗料と空気が均一に混合・起泡する構造になっている。送液量や泡重

量(塗料と空気の混合比率)、ローターの回転速度は、⑤タッチパネルで設定及び確認することができ、泡重量を設定しておけば、②モノポンプの送液量を変更しても、それに追従してフォームジェネレーター部での空気の混合量も変更し、泡重量を一定に維持することが可能である。



a) フォームプロセッサー内部



b) フォームジェネレーター内部

- ①塗料または薬品
- ②モノポンプ
- ③フォームジェネレーター
- ④ホース
- ⑤タッチパネル

図3 フォームプロセッサーFP-3

3. 気泡含有塗料の物性評価

フォームプロセッサーFP-3により起泡処理を行った気泡含有塗料の物性としては、泡重量、塗料粘度及び塗工皮膜の形態について評価した。

泡重量は、容積既知のポリビーカーに起泡処理直後の気泡含有塗料をすり切りで入れ、重量を測定して求めた。

塗料粘度は、起泡処理前後の塗料について、回転式粘度計(VISCOMETER DV-I+:BROOKFIELD社製)を用い、室温状態で測定した。ローターの回転速度は50rpmとした。

塗工皮膜の形態を観察する試料は次のように作製した。塗工用基材であるサーマルボンド不織布のカットシートを、プラスチック製バット上に渡し、不織布シートの4隅をクリップによりバットに固定した。この不織布シートのバットに固定した端付近に塗料を垂らし、直ちにマイヤーバー(No.22)を不織布シートのMD方向に摺動し、基材シート上に気泡含有塗料を塗工した。塗工後は、バットに固定したまま直ちに送風乾燥機に入れ、110℃で5分間乾燥し、気泡含有塗料による塗工皮膜を作製した。塗工皮膜の形態は、走査型電子顕微鏡(JSM-5510LV:日本電子㈱製)を用いて、皮膜の表面について観察した。

4. シリカゲル微粉体含有塗料の塗工試験

塗料の調製条件によるシリカゲル微粉体の吸放湿機能への影響を評価するために、シリカゲル微粉体含有塗料の不織布基材への塗工は、マルチコーター (TM-MC: 株式会社テクノテック製) を使用して行った。塗工方式は、コンマダイレクト方式またはコンマリバース方式を使用し、コンマギャップは $400 \sim 2,500 \mu\text{m}$ とした。ラインスピードは $1 \sim 2\text{m/分}$ 、乾燥温度は 1 室 110°C ・2 室 120°C ・3 室 120°C とした。

5. シリカゲル微粉体複合化不織布の吸放湿性の評価

マルチコーター塗工により作製したシリカゲル微粉体複合化不織布試料について、シリカゲル微粉体の吸放湿性能の評価試験を行った。100mm 角の塗工不織布試料は、2 つ折りにして秤量瓶に入れ、秤量瓶ごと恒温恒湿器 (THE051FA: 株式会社東洋製作所製) に入れた。その後、恒温恒湿器の温度・湿度設定を $25^\circ\text{C} \cdot 35\%RH$ と $25^\circ\text{C} \cdot 95\%RH$ とを 24 時間周期で交互に繰り返し、その間の試料の重量変化から評価した。

結果と考察

1. 塗料の起泡処理による気泡含有塗料の調製

(1) 塗料組成が起泡処理に及ぼす影響

本研究では、乾式不織布への機能性粉体の複合化技術に取り組むが、一般に、バインダー樹脂により機能性粉体を不織布基材に担持させる場合には、使用する樹脂が粉体の表面を被覆し、粉体の機能性を阻害することが懸念される。そこで、泡状態のバインダー樹脂の利用により多孔状皮膜とし、機能性粉体とバインダー樹脂との接触を部分的とすること、また微細繊維状バインダーの利用により、バインダー樹脂の使用量の低減と多孔状皮膜の形態を安定化することを主眼に、塗料組成及び塗料の発泡処理条件を検討した。

まず、ウレタン樹脂エマルジョンを主体に、起泡剤と増粘剤を添加し、フォームプロセッサを用いた空気混合攪拌により、気泡含有塗料化を行った。塗料中のウレタン樹脂量の低減がどこまで可能かを検討するために、塗料中のウレタン樹脂濃度を $0.75\text{wt}\%$ から $6.0\text{wt}\%$ まで変更した塗料を調製し、フォームプロセッサによる起泡処理を行った。起泡剤と増粘剤の添加量は、ウレタン樹脂量にかかわらず、それぞれ $0.75\text{wt}\%$ と $0.125\text{wt}\%$ とした。また、フォームプロセッサの運転は、送液量 250g/min 、ローター回転 $1,000\text{rpm}$ 、泡重量設定 300g/L の条件で行った。図 4 に起泡処理前後の塗料の粘度を示す。

起泡処理前の塗料は、ウレタン樹脂濃度に関係なく $30\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度の低粘度であるが、起泡処理後は、いずれのウレタン樹脂濃度においても粘度が増大しており、ウレタン樹脂濃度が低い場合においても、起泡処理が可能で

あることを確認した。起泡処理後の粘度上昇は、ウレタン樹脂濃度が高いほど顕著であり、この要因としては、同じ泡重量であれば塗料中の固形分濃度が大きいほど起泡処理後の液体膜の固形分濃度も大きくなり、それにより外圧に対する気泡状態の安定性が增大することで、塗料粘度の向上に作用したものと考えられる。

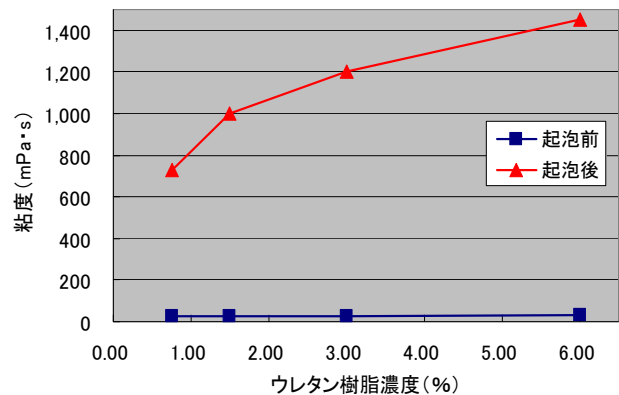


図 4 ウレタン樹脂塗料の起泡処理前後の粘度

次に、ウレタン樹脂の使用量の低減を目的に、微細繊維状バインダーであるマイクロフィブリル化セルロース (MFC) を $0.5\text{wt}\%$ 添加したウレタン樹脂塗料を調製し、フォームプロセッサによる起泡処理を行った。塗料中のウレタン樹脂濃度を $0.75\text{wt}\%$ から $6.0\text{wt}\%$ まで変更し、起泡剤と増粘剤の添加量、及びフォームプロセッサの運転条件は、ウレタン樹脂単独塗料の場合と同条件で行った。図 5 に起泡処理前後の塗料の粘度を示す。

MFC を $0.5\text{wt}\%$ 添加することで、起泡処理前の塗料においても、ウレタン樹脂単独塗料に比較して、 $250\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度と粘度はかなり増大した。さらに、起泡処理後は、いずれのウレタン樹脂濃度においても粘度が増大しており、MFC 添加塗料においても、起泡処理が可能であることを確認した。起泡処理後の粘度上昇が、ウレタン樹脂濃度が大きいほど顕著である傾向は、ウレタン樹脂単独塗料と同じであるが、同一のウレタン樹脂濃度で比較すると、MFC 添加塗料の方がウレタン樹脂単独塗料よりも、起泡処理後の粘度は若干低い傾向を示した。この要因としては、MFC の添加により塗料固形分に対する起泡剤の添加量が不足したか、または起泡前塗料の粘度の増大により、フォームプロセッサの攪拌エネルギーが、ウレタン樹脂単独塗料よりも塗料の起泡に作用しなかったことが考えられる。

図 6 に、ウレタン樹脂単独塗料と MFC 添加塗料の起泡処理後の実測の泡重量を、ウレタン樹脂濃度ごとに示す。両塗料のフォームプロセッサによる起泡処理では、泡重量設定は 300g/L の条件で行ったが、ウレタン樹脂単独塗料では、ウレタン樹脂 $1.5\text{wt}\%$ 濃度以上で実測泡重量が設定の 300g/L 以下になっていることから、ウレタン樹脂に対する起泡剤の添加量は十分であると考えられる。

既報⁵⁾では、アクリル樹脂エマルジョン $25\text{wt}\%$ 塗料に

対し、起泡剤は対アクリル樹脂(固形分換算)10%(w/w)程度の添加量が気泡含有塗料化には最適であった。これに比較すると、今回のウレタン樹脂に対する起泡剤の添加量は過剰ではあるが、塗料のウレタン樹脂濃度が極端に低いことから、塗料における起泡剤の濃度としては、既報⁵⁾の場合の1/3程度である。

一方、MFC添加塗料では、実測泡重量が設定の300g/L以下になるのは、ウレタン樹脂6.0wt%濃度以上であることから、ウレタン樹脂単独塗料に比較して、起泡処理が困難であると考えられる。MFC添加塗料では、ウレタン樹脂1.5wt%濃度以下では、起泡処理において塗料中に大きな気泡が混在した。MFC添加塗料では、ウレタン樹脂濃度が高いほど、気泡状態が安定化することから、同塗料においては、ウレタン樹脂エマルジョンと起泡剤の相互作用が、気泡状態の安定化に寄与していることが示唆された。

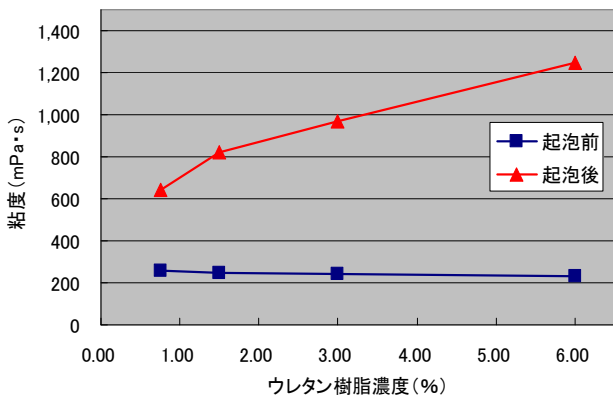


図5 MF C添加塗料の起泡処理前後の粘度

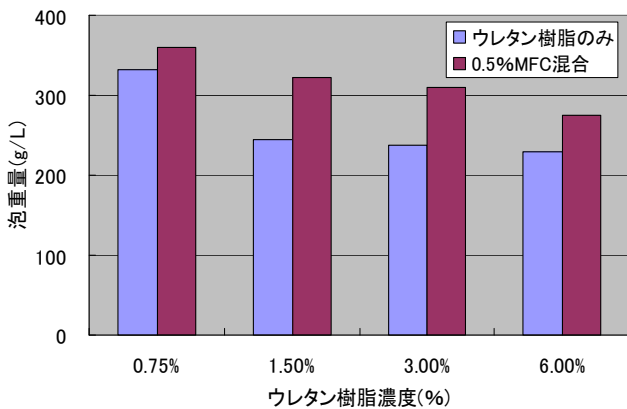


図6 ウレタン樹脂塗料の起泡処理後の泡重量

(2)気泡含有塗料による塗工皮膜の形態

図7に、前述のウレタン樹脂単独塗料とMFC添加塗料を、フォームプロセッサによる起泡処理後に、不織布基材へ塗工した試料の走査型電子顕微鏡写真を示す。

ウレタン樹脂単独塗料については、0.75wt%と樹脂濃度が低い試料では、起泡後の液体膜の固形分濃度が低いいためか、乾燥後には気泡による多孔性構造が消滅し、基材を構成する繊維間に皮膜はほとんど形成されていない。

しかし、ウレタン樹脂の濃度が高くなるのに伴い、起泡後の液体膜の固形分濃度も高くなり、乾燥により液体膜が減容しても気泡による多孔性構造が残存し、基材繊維間に多孔性皮膜が形成されていることが確認できる。

一方、MFC添加塗料については、0.75wt%濃度の試料では、前述のとおり気泡状態が不安定であり、塗工工程中か乾燥中において気泡による多孔性構造が消滅し、MFCが断片的に基材繊維表面に付着した状態である。しかし、ウレタン樹脂の濃度が高くなるのに伴い、気泡状態が安定化し、乾燥後に基材繊維間に多孔性皮膜が形成されていることが確認できる。気泡状態が安定している1.5wt%濃度以上の試料について、ウレタン樹脂単独塗料とMFC添加塗料を比較すると、MFC添加塗料の方がより微細な多孔性皮膜が形成されていることが確認できる。不織布基材に塗工した気泡含有塗料は、気泡間に液体膜が存在するが、塗工後の加熱乾燥において、乾燥による水分の減少に伴い液体膜は薄くなり、また加熱による気泡内の空気の膨張力も作用することにより、液体としての流動性を有する間は、液体膜は破れて隣接す

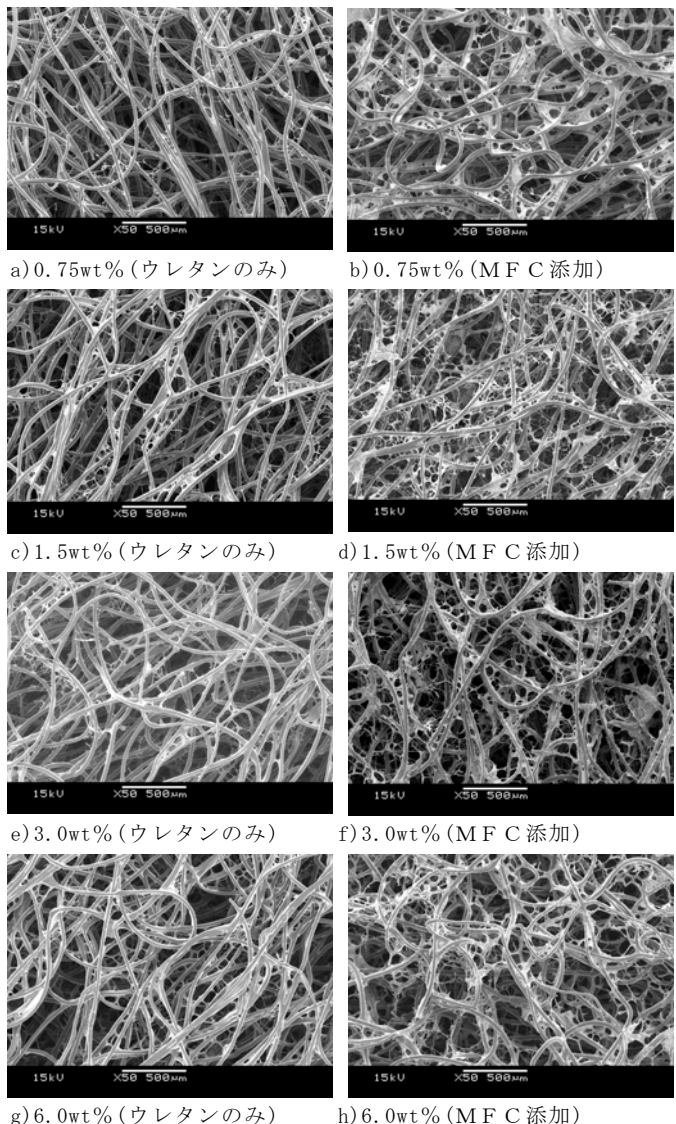


図7 気泡含有塗料による塗工皮膜の走査型電子顕微鏡写真

る気泡同士が合一して泡沫となる。この過程を繰り返しながら、更なる乾燥により液体膜が不動化し、最終的な皮膜構造が形成されていくことが予想される。MFC添加塗料においては、ウレタン樹脂に比較して大型のMFCが気泡含有塗料の液体膜の一部を構成することで、このような乾燥に伴う気泡同士の合一に対する阻害因子として作用し、乾燥後にウレタン樹脂単独塗料よりも、起泡処理時の気泡径に近い多孔性皮膜構造をより多く残存することが可能になると推察した。

2. シリカゲル微粉体複合化不織布の調製

(1) シリカゲル微粉体含有塗料の調製

前述のように、ウレタン樹脂単独塗料よりもMFC添加塗料の方が、フォームプロセッサによる起泡処理で安定した多孔状皮膜を形成できることから、シリカゲル微粉体含有塗料の調製は、ウレタン樹脂 3.0wt%濃度の0.5wt%MFC添加塗料を用いて行った。起泡剤と増粘剤の添加量は、前述と同じくそれぞれ 0.75 wt%と 0.125 wt%とした。

表2に、同塗料のフォームプロセッサによる起泡処理前後の粘度と実測の泡重量を示す。フォームプロセッサの運転は、送液量 250g/min、ローター回転 1,000rpmで、泡重量設定を 750g/L から 250g/L まで変更した。その結果、泡重量設定 750g/L の条件でも起泡処理が可能であり、起泡前に比較して粘度は2倍ほどに増加した。

低濃度のウレタン樹脂塗料に、比重の大きいシリカゲル微粉体を添加する場合には、シリカゲル微粉体が沈降して塗料中に均一に分散しないことが懸念される。そこで、シリカゲル微粉体含有塗料の調製では、シリカゲル微粉体の添加前に、フォームプロセッサによりあらかじめ塗料の起泡処理を行い、塗料粘度が上昇してシリカゲル微粉体の沈降を阻止できる状態にしてから、シリカゲル微粉体を添加・攪拌し、その後再度フォームプロセッサにより目標の泡重量に起泡処理を行う手順とした。

起泡処理を行った塗料にシリカゲル微粉体を添加し、プロペラ攪拌機 (PROMIX PR-600: 柴田科学(株)製) により、シリカゲル微粉体を塗料中に攪拌・分散するためには、起泡処理後の塗料の流動性と攪拌中の消泡を考慮すると、泡重量設定 500g/L の条件での起泡処理が最適であった。しかし、この起泡処理条件においても、表1に示すシリカゲル微粉体のうちで、粒径が最大の Wakogel C-100 については、沈降を阻害できず塗料化が困難であった。

表2 起泡処理に伴う塗料の粘度上昇

泡重量設定	実測の泡重量	粘度
750 g/L	528 g/L	580 mPa・s
500 g/L	431 g/L	650 mPa・s
250 g/L	158 g/L	2,700 mPa・s
原液(起泡前)	—	280 mPa・s

(2) シリカゲル微粉体含有塗料の泡塗工皮膜の形態

ウレタン樹脂 3.0wt%濃度の 0.5wt%MFC添加塗料を、フォームプロセッサにより泡重量設定 500g/L で起泡処理を行い、同塗料に対ウレタン樹脂(固形分換算)3倍量のシリカゲル微粉体を添加・混合し、再度フォームプロセッサによる起泡処理を行った。シリカゲル微粉体 Wakogel C-300HG を添加後の起泡処理において、泡重量設定を 250g/L から 1,000g/L まで変更して処理を行い、不織布基材へ塗工した試料の走査型電子顕微鏡写真を図8に示す。いずれの泡重量設定の試料においても、シリカゲル微粉体が不織布基材に分散担持されている様子が観察できる。

今回の調製方法では、シリカゲル微粉体の添加前に泡重量設定 500g/L で起泡処理を行っているため、シリカゲル微粉体添加後の消泡分を考慮しなければ、再度の起泡処理では、実際の泡重量はフォームプロセッサ設定値の1/2になることが予想される。機能性粉体の複合化による不織布の高機能化では、面積あたりの粉体量が多い方がより高機能になると考えられるために、機能性粉体を添加後の再度の起泡処理では、泡重量設定は大きい方が好ましい。図8d)の泡重量設定が最大の1,000g/Lにおいても、シリカゲル微粉体が多孔状皮膜構造により不織布基材に担持されている。

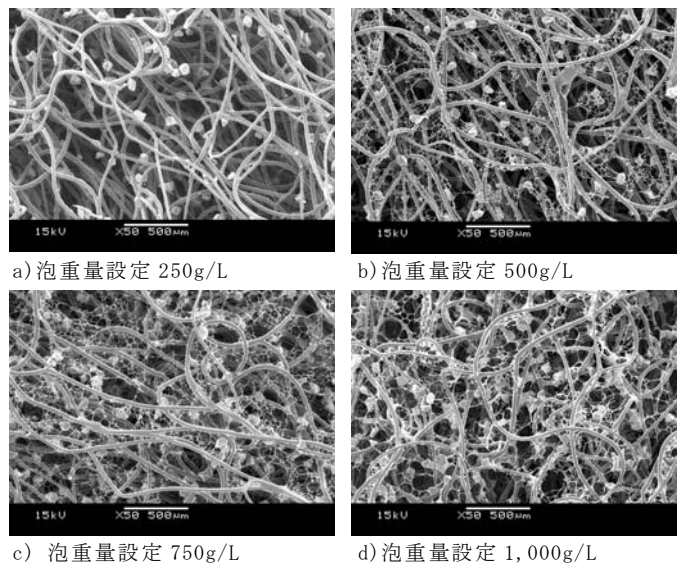


図8 シリカゲル微粉体含有塗料の泡塗工皮膜の走査型電子顕微鏡写真

一方、塗料へのシリカゲル微粉体の添加量としては、対ウレタン樹脂(固形分換算)5倍量の添加が、微粉体の脱落が生じない限界量であった。シリカゲル微粉体の添加により、塗料の起泡力が低減する要因もあり、対ウレタン樹脂5倍量のシリカゲル微粉体を添加した塗料では、起泡剤の追加と泡重量設定 750g/L での起泡処理が、多孔状皮膜構造を形成し、シリカゲル微粉体を不織布基材に担持するための最適条件であった。図9に、シリカゲル微粉体 C-400HG と C-500HG を対ウレタン樹脂5倍量添加

した塗料の、泡重量設定 750g/L での起泡処理後、不織布基材へ塗工した試料の走査型電子顕微鏡写真を示す。

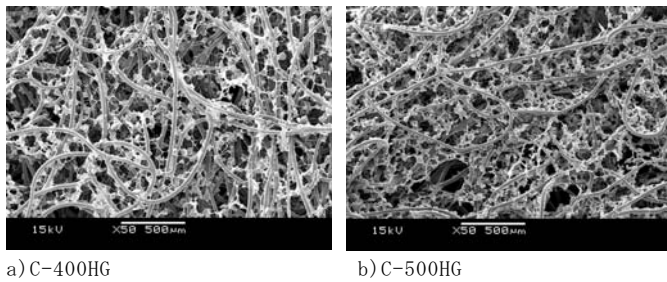


図9 シリカゲル微粉体含有塗料の泡塗工皮膜の走査型電子顕微鏡写真

(3) シリカゲル微粉体複合化不織布の吸放湿性の評価

本研究で使用した粒径の異なる 5 種類のシリカゲル微粉体をそれぞれ秤量瓶に入れ、微粉体単体での吸放湿量を測定した。25℃・35%RH と 25℃・95%RH とを 24 時間周期で繰り返し、その間の試料の重量変化から吸放湿量を算出した結果、C-200 が微粉体 1g あたり 0.54g と最大の吸放湿量を示した。そこで、C-200 を塗料化し、シリカゲル微粉体複合化不織布の試作を行った。

ウレタン樹脂 3.0wt%濃度の 0.5wt% MFC 添加塗料を、泡重量設定 500g/L で起泡処理を行い、同塗料に対ウレタン樹脂(固形分換算) 5 倍量のシリカゲル微粉体 C-200 を添加・混合し、再度泡重量設定 750g/L で起泡処理を行った。対照として、シリカゲル微粉体を添加せず同様に起泡処理した塗料と、ウレタン樹脂 25wt%濃度の単体塗料を同様に起泡処理した塗料を作製した。これら 3 種類の塗料について、マルチコーターのコンマダイレクト方式により不織布基材に塗工し、シリカゲル微粉体複合化不織布を試作した。

図 10 に、各塗工不織布の吸放湿量を示す。吸放湿量は、100mm 角試料の塗工量 1g あたりの重量で表すが、MFC を添加したウレタン樹脂 3.0wt%濃度の試料が、最も大きい吸放湿量を示した。ウレタン樹脂 25wt%濃度の試料には、面積あたりのシリカゲル微粉体の塗工量は、ウレタン樹脂 3.0wt%濃度の試料と同量になるように添加しており、同試料の吸放湿量が大きく低減したのは、

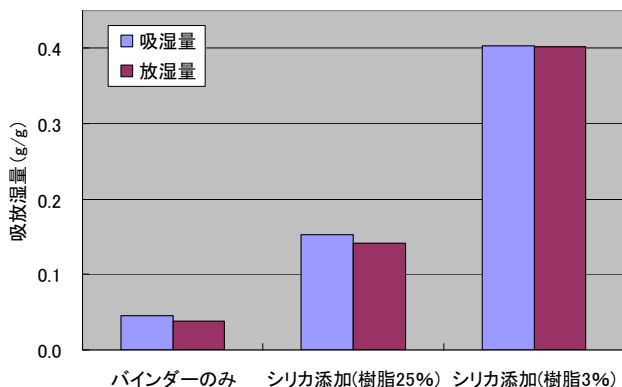


図10 シリカゲル微粉体複合化不織布の吸放湿量

ウレタン樹脂がシリカゲル微粉体の表面を被覆したこと起因するものと考える。最大の吸放湿量を示した MFC 添加ウレタン樹脂 3.0wt%濃度の試料について、実際のシリカゲル含有量は測定していないが、塗料調製時の比率で含有していると仮定すれば、シリカゲル微粉体単体での吸放湿量と比較して、不織布への複合化後にも 75~80%の吸放湿機能が残存している。

ま と め

ロータリースクリーンコーター付属のフォームプロセッサによる泡塗工技術を利用し、機能性粉体の有する機能性を阻害しない状態で、乾式不織布に複合化する技術開発に取り組んだ結果、次の成果が得られた。

1. ウレタン樹脂エマルジョンを主体に、起泡剤及び増粘剤を配合した塗料において、微細繊維状バインダーを添加することにより、バインダー樹脂使用量の低減と多孔状皮膜形態の安定化が図れた。
2. 塗料の起泡処理により塗料粘度が向上し、塗料中のシリカゲル微粉体の沈降が阻止され、塗料中への均一分散が可能となった。
3. シリカゲル微粉体を含有する塗料を起泡処理し、乾式不織布に塗工した場合、多孔状皮膜構造を形成し、シリカゲル微粉体の吸放湿能の低減を抑制できた。

文 献

- 1) 矢井田修:不織布の市場と商品開発/市場成熟化で重要度増す技術力と独自性, 紙パルプ技術タイムス, 47-8, 17-20(2004).
- 2) 矢井田修:不織布の市場動向と商品開発/質的向上と独自性の追求で再び成長品種に, 紙パルプ技術タイムス, 46-8, 26-31(2003).
- 3) 高岡米治:機能性不織布とその加工技術, コンパテック, 30-5, 46-53(2002).
- 4) 中野克俊:仕上げ加工における不織布の複合化, NONWOVENS REVIEW, 4-3, 27-33(1993).
- 5) 高橋雅樹ほか:気泡含有塗料による乾式不織布への表面塗工, 愛媛県工業系試験研究機関研究報告, 44, 55-60(2006).