

超音波霧化による塗工技術の開発研究

武田直樹 中河三千代*¹

Development of the coating engineering by solution atomization

TAKEDA Naoki and NAKAGAWA Michiyo

今後、紙の付加価値を高めるには、機能性塗工液の効率的な定着技術が重要になってくる。そこで、本研究では超音波霧化方式による塗工システムを構築し、耐油剤の塗工実験を行った。この結果、超音波霧化塗工システム及び塗工液における各種条件と機能性・塗工状態の関係について確認することができた。

キーワード：超音波霧化、塗工、紙加工

はじめに

紙の付加価値を高めるには、一般に機能性のある高価な材料を紙表面に塗工するが、従来の方法では塗工量の制御が難しいため、過剰量の機能性材料が必要である場合もあった。このため、これに替わる効率的な塗工液定着技術が求められている。

そこで、必要最小量の機能性材料を紙表面に付着させることにより製品コストを削減するため、機能性材料の溶液を超音波霧化方式を利用して、紙表面に薄く効率的に塗工する霧化塗工技術を開発する。

実験方法

1. 超音波霧化塗工システムの構築及び性能確認実験

(1) 超音波霧化の原理¹⁾

超音波ノズルはディスクタイプのセラミック圧電素子（ピエゾ素子）を内蔵している。このピエゾ素子は高い周波数の電気エネルギーを同じ周波数で振動する機械的エネルギーに変換する圧電効果を利用している。このピエゾ素子を利用した超音波ノズルにおける塗工液の霧化原理を図1に示す。

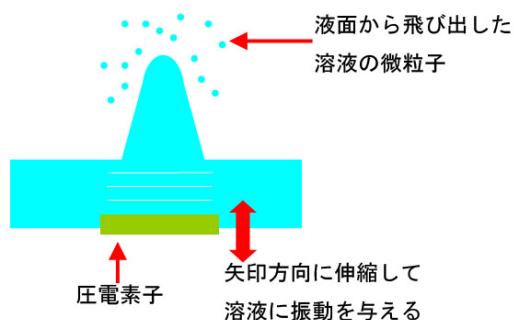


図1 超音波霧化の原理

超音波霧化ノズルは、人間の非可聴範囲である 20kHz

以上の周波数で駆動する。図1に示した圧電素子の均一な微細変動によって、ノズルの末端に供給された液体の端面で霧化液滴が発生する。超音波ノズルは、噴霧流量に関する多くの変数を持っていて、ノズル径や動作周波数によって流量が制限されている。一般的に得ることができるノズルの最高・最低のスプレー流量比は5:1とされている。従来のエア加压式ノズルと比較した超音波ノズルの特徴としては、噴霧液滴が低速度（平均速度：0.5m/s～0.0043m/s）であるため、跳ね返りによる過剰噴霧がほとんど発生しないこと及び低消費電力であることが挙げられる。

(2) 超音波霧化塗工システムの構築

本研究においては、機能性塗工液を超音波霧化方式で微粒子状にして、基材（紙・不織布）上に薄く定着させることを目指している。このため、超音波霧化方式の評価を行うための塗工システムを構築したので、図2に示す。主な構成要素はアトマイザー、ノズル及び送液部で巻出、巻取装置として熱カレンダー（㈱大昌鉄工所製、D22LACA-00-001）を使用した。主な仕様を表1に示す。

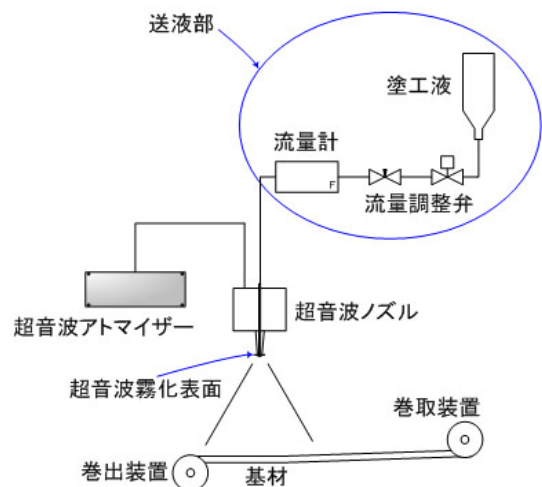


図2 超音波霧化塗工システム

表1 超音波霧化塗工システムの仕様¹⁾

* 1（現）東予地方局健康福祉環境部環境保全課
この研究は、「溶液霧化による塗工技術開発研究」の予算で実施した。
愛媛県産業技術研究所業績第18号

ア ト マイ ザ ー	周波数	60、120 (kHz)
	消費電力	22W max.
	出力	3~5 W (120kHz) 6~10 W (60kHz)
	周波数固定	位相ロック制御方式
ノ ズ ル	ノズル径	0.8 (mm) (120kHz) 1.9 (mm) (60kHz)
	流量	< 18 (ml/min.) (120kHz) < 48 (ml/min.) (60kHz)
	噴霧型	円錐型
	動作温度	20~120 (°C)
送 液 部	流量計	
	流量	< 50 (ml/min.)
	調節機能	ニードル弁

まず、図2に示した中で塗工量の制御要素としては、アトマイザー出力の調整、送液部のニードル弁による塗工液供給量の調整及び熱カレンダー巻取装置の速度調整が考えられる。²⁾

次に、表1に示すとおり、超音波ノズルは60kHzと120kHzに最適化された2つのノズルを使用し、最大流量はそれぞれ48ml/min.、18ml/min.となっている。

(3)性能確認実験

図2に示したシステムにおいて、超音波ノズルの噴霧特性及び使用できる機能性塗工液の特性に関する性能確認実験を行った。

まず、超音波ノズルから噴霧された液滴径分布は発振周波数に依存していて、図3に示す液滴径分布(仕様値)となっている。

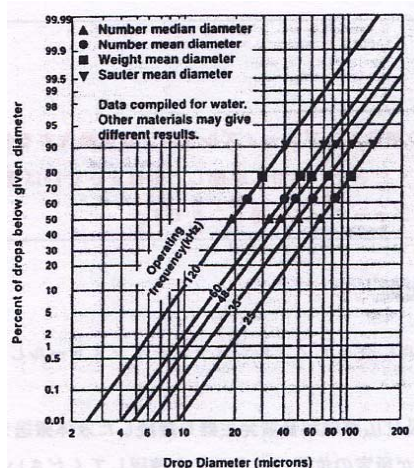


図3 各ノズルの液滴径分布(仕様値)¹⁾

そこで超音波ノズルで純水を噴霧した場合における噴霧可能出力範囲、噴霧パターン及びノズル高さの最適位置を把握するため、水に反応して色変化する感水試験紙(スプレーイングシステムスジャパン(株)製,20301-2N)を利用した噴霧実験及びノズル径の違いによる噴霧特性の確認を行った。

次に、超音波霧化方式のノズルで使用する機能性塗工液は、粘度が高すぎると表面張力の影響で噴霧ができなくなる。このため、耐油剤(フッ素系紙用耐油加工剤アサヒガード:AG-E060)の希釈率を変化させて超音波霧化実験を行い、回転式粘度計(ブルックフィールド社製,RVDV-I+)を用いて噴霧可能範囲を確認した。

2. グラシン紙への耐油剤塗工実験

塗工分野における超音波霧化方式の適合性を確認するため、グラシン紙(厚口グラシン:30.5g/m²)に耐油剤を塗工し、機能性及び塗工状態を評価することとした。

(1)耐油剤の塗工実験

まず、超音波霧化塗工システムにおいて、ノズル先端と基材の距離は15cm一定とし、塗工液流量及び巻取速度をパラメータとした。塗工状況写真を図4に示す。



図4 超音波霧化塗工状況

次に、従来方式との比較のため、超音波霧化塗工システム以外に、卓上型塗工機(榎安田精機製作所製, No.542-AB)においてパー(RDS03)を使用して、超音波霧化方式と希釈率を同一にした耐油剤をグラシン紙に塗工した。

(2)はつ油度試験³⁾

耐油剤を塗工したグラシン紙における機能性の発現程度を確認するため、双方の塗工方式におけるサンプルにおいて、はつ油度試験(JAPAN TAPPI No.41:キット法)を行った。キット法とは、ひまし油、トルエン及びn-ヘプタンの混合比を変化させたキット試薬を用いて、フッ素系サイズ剤で処理した紙のはつ油性の程度(12:はつ油性大~0:はつ油性なし)を試験する方法である。

(3)塗工液の定着状態の観察

各塗工方式において、塗工厚や塗工液の基材への定着状態を確認するため、共焦点レーザー顕微鏡(カールツァイス(株)製, LSM 5 PASCAL)による塗工サンプルの観察を行った。

3. 不織布への耐油剤塗工実験

表面に凹凸がある基材（不織布等）に塗工する場合は、従来の塗工方式と比較して、超音波霧化方式では図5に示すとおり、塗工液を均一に定着させることができると考えられる。このため、不織布（スパンボンド不織布、ポリプロピレン）に耐油剤を塗工して、共焦点レーザー顕微鏡による塗工状態の観察を行った。

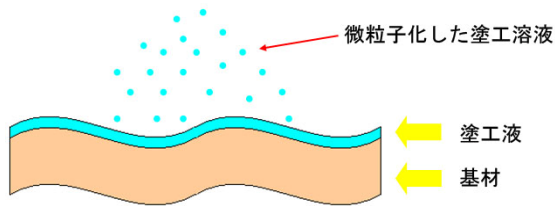


図5 霧化塗工方式の利点

結果と考察

1. 超音波霧化塗工システムの性能確認実験

試作したシステムにより、以下に示すことについて性能確認及び最適化実験を行った。

(1)超音波ノズルの噴霧特性の確認

まず、各ノズルの超音波霧化可能出力範囲は 120kHz ノズルが 3.5W から 5.0W で、60kHz ノズルが 9.0W から 10.0W であった。仕様値と相違があった原因としては、ノズルへの純水供給量を最大流量に設定したこと及びピエゾ素子の温度低下による機能低下が考えられる。超音波噴霧可能範囲における感水紙（W 15.6cm×D 15.2cm）を利用した噴霧パターンの確認結果を図6に示す。

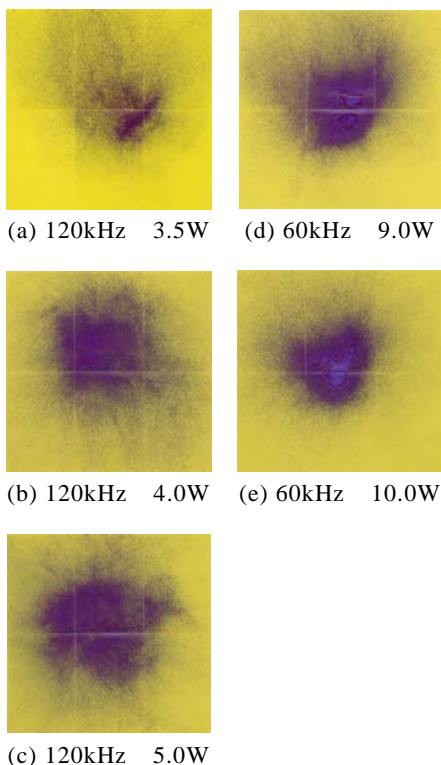
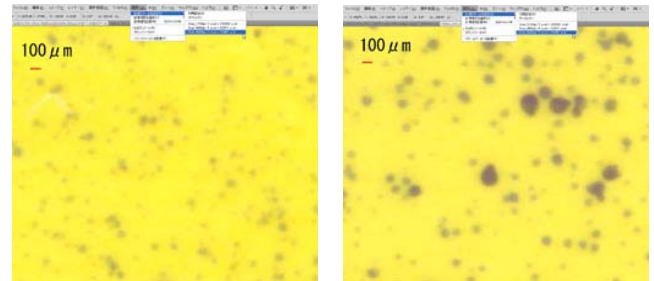


図6 各ノズル毎の噴霧パターン
超音波アトマイザー出力の上昇が噴霧範囲拡大に与

える影響については、図6の(a)、(b)、(c)に示すように 120kHz ノズルでは確認できたが、図6の(d)、(e)に示すように 60kHz ノズルでは変化はなかった。液滴径については、図6に示した感水紙試験結果を画像処理ソフトで評価した結果、図7(a)に示すように 120kHz ノズルでは 20 μ m 程度の液滴を、図7(b)に示すように 60kHz ノズルでは 40 μ m 程度の液滴を確認することができた。



(a) 120kHz 5.0W (b) 60kHz 10.0W

図7 各ノズル毎の液滴径

基材に対するノズルの最適高さを把握するため、10cm～25cmで噴霧実験を行った。この結果、120kHz ノズルでは距離 10cm から 15cm と変化させると噴霧範囲径は 12cm から 16cm と広範囲になったが、ノズル先端から基材までの距離が 15cm を超えると噴霧範囲は殆んど変化しないことを確認した。60kHz ノズルも同様であったため、基材に対する最適ノズル高さは、空気の対流の影響を受けない 15cm とした。

次に、ノズル径の違いによる影響については、120kHz ノズルと比較して 60kHz ノズルの方が径が大きいこと、ノズル先端にできる噴霧表面の直径及び最大流量が大きいたことが確認できた。60kHz ノズルにおいて、超音波噴霧開始時に塗工液供給量を最小流量限界まで絞らないと噴霧開始しなかったことは、このことが原因であると考えられる。

(2)超音波霧化可能である機能性塗工液及びその粘度

超音波ノズルで霧化できる機能性塗工液は水系の塗工液が推奨とされており、かつ、粘度が高すぎると表面張力の影響で噴霧不可となる。このため、フッ素系紙用耐油加工剤（粘度 50mPa・s 以下）の希釈率を変更して超音波霧化を実施し、回転式粘度計を用いて噴霧可能範囲を確認した。この結果、120kHz ノズルは 20mPa・s 以下（40%希釈）で、60kHz ノズルは 15mPa・s 以下（30%希釈）で噴霧可能であることを確認した。

2. グラシン紙への耐油剤塗工実験

(1)耐油剤の塗工実験

まず、塗工量は塗工液流量及び巻取速度で調整可能であることを確認したが、超音波ノズルの径及び内部構造により噴霧可能量が限定されるため、巻取速度で調整することとした。

次に、塗工液流量を変化させることで、塗工幅を調整

できることが確認できたので表 2 に示す。

表 2 塗工液供給量と塗工幅（噴霧範囲）の関係

	塗工液流量 (ml/min.)	塗工幅 (cm)
120kHz ノズル (5W)	18	8
	9	6
60kHz ノズル (10W)	48	6
	24	5
	12	4
	6	3

表 2 に示した塗工幅は噴霧液滴が密である中心部領域であり、実際の液滴付着幅は周辺部も含めて約 2 倍であった。

(2) はつ油度試験

超音波霧化塗工システムで耐油剤を塗工したグラシン紙のはつ油度試験結果を表 3 に示す。

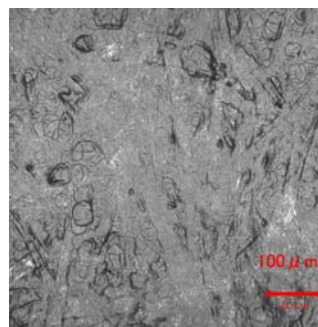
表 3 はつ油度試験結果

120kHz ノズル (5W、18ml/min.)		
巻取速度	中心部	周辺部
5m/min.	12	0
10m/min	12	0
15m/min	12	0
60kHz ノズル (10W、24ml/min.)		
巻取速度	中心部	周辺部
5m/min.	12	2
10m/min.	12	1
15m/min.	12	0
60kHz ノズル (10W、5m/min.)		
塗工液流量	中心部	周辺部
6 ml/min.	12	0
12ml/min.	12	0
48ml/min.	12	1

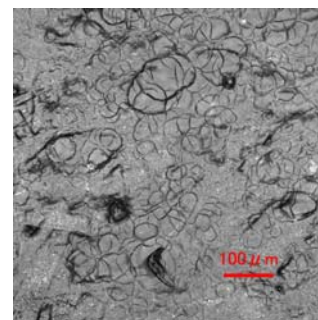
卓上型塗工機（バー：RDS03）での塗工サンプルにおけるはつ油度は 12 であった。超音波霧化塗工方式においては表 3 に示すとおり、各ノズルにおける噴霧範囲の中心部においてははつ油度が全て 12 となり、耐油性が発現していることを確認できた。塗工液供給量が 18ml である 120kHz ノズル (5m/min.) で塗工したサンプルにおいても、中心部における塗工量が標準使用量 (0.1g/m² ~ 0.3g/m²) よりも少ない 0.045 g/m² (塗工流量及び中心部塗工幅より計算) ではつ油度が 12 となった。ただし、周辺部は液滴密度が低いため、殆んど耐油性の発現は確認できなかった。

(3) 塗工液の定着状態の観察

各塗工方式において、塗工厚や塗工液の定着状態を確認するため、共焦点レーザー顕微鏡による塗工サンプルの観察を行ったので、図 8 に示す。



(a) 120kHz ノズル

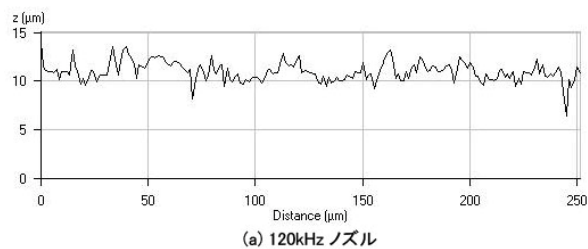


(b) 60kHz ノズル

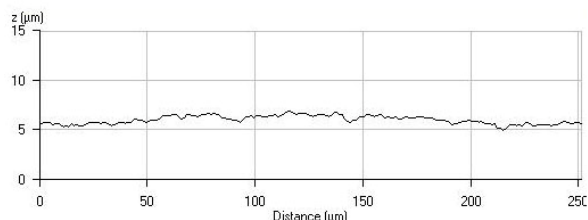
図 8 共焦点レーザー顕微鏡像

図 8 (a) に示すように 120kHz ノズルは径が 20~40 μm、図 8 (b) に示すように 60kHz ノズルは径が 40~60 μm 付近の液滴が確認できた。超音波霧化方式でサイズ度のある基材に塗工した場合、液滴がつぶれずにそのまま積層することが確認できた。

また、各サンプルの厚みを紙厚計で計測した結果、塗工方式は超音波霧化の方が、発振周波数は高い程薄いという結果であった。塗工状態を確認するため、断面を共焦点レーザー顕微鏡で計測した結果を図 9 に示す。



(a) 120kHz ノズル



(b) 60kHz ノズル

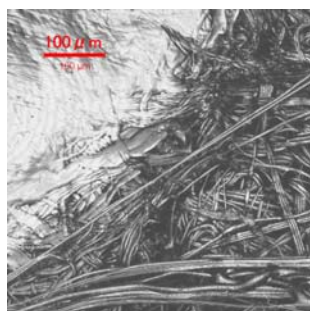
図 9 グラシン紙断面における塗工厚の状況

図 9 に示すように 60kHz ノズルの方が平滑度が高くなっている。このことは、60kHz ノズルの方が液滴サイズ

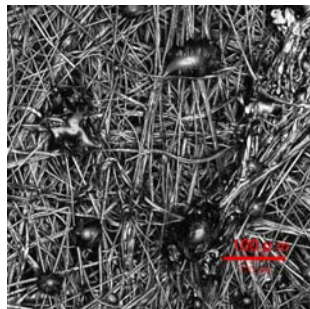
が大きいこと及び霧化液滴の速度がより速いため、比較的大きな液滴が潰れて平滑化していることが原因であると考えられる。これに対して 120kHz ノズルでは液滴が潰れていないことが考えられる。

3. 不織布への塗工実験

不織布への塗工状態を確認するため、耐油剤を超音波霧化方式及び卓上型塗工機を利用して塗工を行った。各サンプルにおける共焦点レーザー顕微鏡像を図 10 に示す。



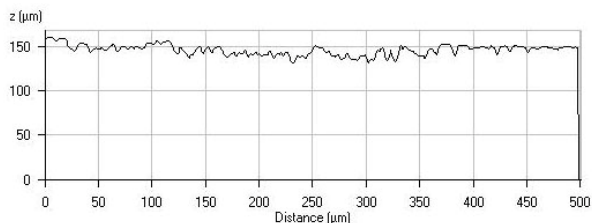
(a) 卓上型塗工機



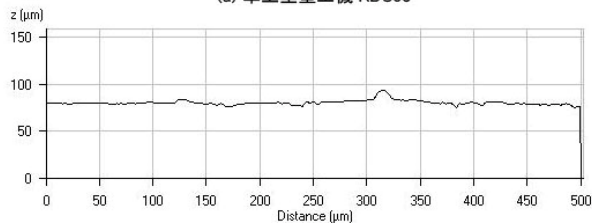
(b) 120kHz ノズル

図 10 不織布の共焦点レーザー顕微鏡像

図 10(a)に示すように卓上型塗工機では必要以上の塗工液の定着を確認できるが、図 10(b)に示した超音波霧化方式では、繊維の隙間や繊維そのものに液滴が付着していることが確認できる。塗工状態を確認するため、断面を共焦点レーザー顕微鏡で計測した結果を図 11 に示す。



(a) 卓上型塗工機 RDS03



(b) 120kHz ノズル

図 11 不織布断面におけるの塗工状態

図 11 に示すように、超音波霧化方式の方が薄く塗工できていることが確認できる。ただし、表面が凸凹である基材に対して均一に塗工する点については、有効性を確認できなかった。このことは、塗工液が水系であること及び霧化液滴が極小であるため、繊維の隙間に入り込む状態となっていることが多いためであると考えられる。

ま と め

機能性塗工液を効率的に定着させる技術の高度化のため、超音波霧化方式による塗工システムの構築及び塗工実験を行った。その結果、以下に示すことが分かった。

1. 性能確認の結果、塗工量、塗工幅及び噴霧液滴径が制御できることを確認した。また、超音波霧化の可否条件であるアトマイザー出力及び塗工液粘度について知見を得た。
2. 耐油剤を塗工したグラシン紙における評価試験の結果、従来方式よりも超音波霧化方式の方が、特に高周波タイプの方が、塗工厚が薄いことが確認でき、耐油性も十分発現していた。表面の塗工状態は、60kHz ノズルの方が平滑性に優れていたが、液滴の一部が潰れていることが考えられるため、今後、塗工条件（ノズル高さ、塗工液供給量）を検討していく必要がある。
3. 不織布への塗工サンプルにおいて、従来方式よりも薄く塗工できていることを確認した。しかし、表面が凸凹である基材に対して均一に塗工する点については、有効性を確認できなかった。

文 献

- 1) 超音波噴霧ノズルシステム(シソニック(株))(2009).
- 2) 紙パルプ製造技術シリーズ⑧コーティング, 紙パルプ技術協会編(新日本印刷(株))(1993).
- 3) 勝間政裕: 環境適合型フッ素系耐油加工剤, (平成 18 年度第 2 回講演会要旨) p. 226-240(2006).