テーマ資料

(色材, 60 [10] 543-551. 1987)

最近の霧化技術

森田 信義*・水落 郷 継*・村田 悟*

1. はじめに

1920 年代に、ニトロセルロースラッカーの開発と同時期に、エアスプレーガンが、従来のハケ塗りに代って使用されはじめ、塗装の主流となった。この方式の特徴は、塗料を微粒化して被塗装物に付けることにあるが、従来のハケ塗りにくらべ、塗面の仕上がりが向上すると共に生産性が飛躍的に向上し、製品生産の1プロセスである塗装における大量生産化の基本的技術となったであろうことは容易に推定される。それ以後、この微粒化の技術は、各種の霧化技術を加えながら、塗面の高品質化と、塗着および塗装の高効率化の面で、発達改良を続けてきた。

塗料の液塊を小さな粒にして被塗装物に付けることは、言い換えれば、無数の微細なハケを瞬時のうちに大量に作り、これを被塗装物に向けて放出することであり、これにより、広範囲の塗装面を短時間で、しかも薄く均一に仕上げるができる。と同時に、奥まった所にも塗料を塗布することが可能となった。また、塗装における塗料の微粒化は、換言すれば、塗料の表面積のコントロールであるともいえる。すなわち、微粒化の際には、極力低粘度塗料を使用した方が微細な粒子ができ、効果的であるが、それをそのまま被塗装物に付けると、タレが生じる。したがって、塗料の粘性、溶剤の蒸発性、飛行時間、塗膜の最終厚さ等を加味しつつ、塗料粒子が被塗装物に塗着した時に、適度に流転し、平滑な塗面を形成するように、飛行中に粒子粘度を、その表面積によってコントロールするのが霧化であるともいえる。飛行中溶剤蒸発が過剰となり、粒子の塗着粘度が高すぎた場合、塗着粒子に基づく凹凸が塗面上に残り¹⁾、逆に

低すぎた場合には、塗面にスケやタレが発生することになる。一方、塗料の微粒化は、短所も持つ。たとえば、ハケ塗りにくらべて塗料飛散が発生するし、また塗着効率が減少する。ただ、これらの短所については、同じ霧化という形を取りながらも、エアレススプレーや静電化など、新しい方式の開発や、静電力の付加などにより、改良・補足がなされてきた。ただ残念なことに、塗装領域においては過去、種々の霧化技術の開発・改良がなされてきたにもかかわらず、それらの技術・性能の明確なデータの公表が少ない。

したがって、今回筆者らは、筆者らの資料・考え方を一部交えつつ、公表された資料を引用して、エアスプレー、エアレススプレー、エアエアレススプレー、静電回

〔氏名〕 もりた のぶよし

〔現職〕 岩田塗装機工業株式会社、第一開発部グループ・リーダー
〔趣味〕 登山、観葉植物
〔経歴〕 昭和 47 年 3 月、関東学院大学大学院工学研究科修士課程修了。同年、岩田塗装機工業株式会社入社、現在に至る。

〔氏名〕 みずおち くにつぐ

〔現職〕 岩田塗装機工業株式会社、開発企画部主任
〔趣味〕 ハイキング
〔経歴〕 昭和 37 年 3 月、神奈川県立横須賀工業高等学校卒。同年、岩田塗装機工業株式会社入社。現在に至る。

〔氏名〕 むらた さとる

〔現職〕 岩田塗装機工業株式会社、第一開発部
〔趣味〕 音楽鑑賞、スキー
〔経歴〕 昭和 58 年 3 月、法政大学工学部機械工学科卒。同年、岩田塗装機工業株式会社入社。現在に至る。

昭和 62.7.7 受理

Recent Technology in Atomization

Nobuyoshi MORITA, Kunitsugu MIZUOCHI and Satoru MURATA

* 岩田塗装機工業株式会社

横浜市港北区新吉田町 3176 (〒223)

転霧化, および一部燃料やプリンター等における最近の霧化技術について, 概括的に報告する。

2. 霧化のプロセス

個々の霧化技術の報告の前に, 液体が, 液塊から小さな粒となって霧化されるプロセスについて, 筆者らの考えをまとめてみる。

図-1 に微粒化のプロセスについてのブロック図を示す。

液体は各々の塗装機において, ノズル開口部形状に依存した形で噴出される。図中, 一次変形とは, このノズル開口部形状による液体の変形を意味する。

ノズルから噴出された液体は, 種々の力が加えられることにより, さらに変形をする。この変形をいま, 二次変形と名付ける。エアスプレーガンなどでは, この二次変形に関与する力として, 高速空気流による剪断力や抗力が考えられるが, 塗料の物性には, 二次変形に抵抗する性質があり, これが粘性と表面張力である。すなわち, 変形に伴う流動に抵抗するのが粘性であり, 変形に伴う表面積の増加に抵抗するのが表面張力である。ただ, 塗料のように粘性の高い液体を微細に変形させる時には, 抗力としては, 表面張力よりも, 粘性の方が大きく利いてくるものと推定される。すなわち, 概略, 粘性が大きければ大きいほど, 変形させようとして加えられる力に対する抵抗が大きくなり, 変形しにくくなると考えられる。

次に変形された塗料は, 分裂をする。この分裂は, 変形された形状を介して, 分裂させようとする外力と表面張力との関係で決定される。すなわち, この表面張力は, 変形されたひとつながりの液塊の表面積を出来るだけ小さくしようとして働く。無論この場合も, 粘性が分裂に伴う塗料の局所的流動に抵抗するように働くことが考えられるが, 局所流動の最小の, 単なる分裂を考えると, 表面張力が大きく利いてくると考えられる。したがって, 表面張力が大きければ大きいほど, 分裂に対して抵抗する形で作用する。以上のプロセスで分裂が行われ, さらに, 分裂した塗料片の群れが, 表面張力により球状となり, 微細な粒の群れとなることが霧化であると

いえる。

実際の霧化を考えると, 図-1 の各要因が, 複合的に作用しているケースが多い。たとえば, 二次変形のための力が1種類ではなく, 2種類以上であったり, また, 一つの力が変形と分裂とにかかわって作用する場合などがそれである。したがって微粒化の考察には, 図-1 の要因の明確化が重要であろう。

3. 各種塗装機の霧化

次に, 数種の塗装機について, 霧化の基本的事項と最近の技術, あるいは問題点について述べる。

3.1 エアスプレー

エアスプレーガンは, 塗装機の中で, 最もポピュラーに使用されるが, これは, 一般には二流体噴霧ノズルと呼ばれ, 液体のまわりから環状に噴出される空気流によって液体を微粒化するものである。この種の微粒化についての研究は古く, 燃料の霧化という観点から, 昭和13~15年に抜山・棚沢らにより一連の報告^{2~6)}がなされている。そこで抜山らは, 気液の相対速度の増加に伴い変化する液体の微粒化の状態を, 次の3種類に分類した。

- i) 滴状分裂
- ii) 紐状分裂
- iii) 膜状分裂

後に熊川らは, それ以上の気液高速域まで調べて, 次の8種類に分類⁷⁾した。

- i) ~ ii) 抜山らと同じ。
- iii) 膜状分裂A
- iv) 樹枝状分裂A
- v) 樹枝状分裂B
- vi) 網状分裂
- vii) 繊維状分裂
- viii) 間欠微粒化

エアスプレーガンの場合, 一般に空気噴出口内圧は, 98 KPa.g 以上で, 気流の速度は音速に達し⁸⁾, 微粒化形態としてはiv) 以後の形態となる。すなわち, ノズルより噴出する塗料は, ノズル出口でコアを作り, その表面より高速気流中に細かい液糸を, 樹の枝状に伸展させて変形・流出し, 分裂・微粒化する。液糸については, 高速気流に接する流体表面上に発生する表面張力波から発生・伸展するものとする解析^{9,10)}がある。

二流体噴霧の場合, その生成粒子径に本質的に関与するのが気液の相対速度であるが, 抜山・棚沢は, ニュートン流体での生成粒子径について, 実験式として次式⁵⁾を導いた。

図-1 微粒化のプロセス

$$d_0 = 585 \frac{\sqrt{\sigma}}{v\sqrt{\rho}} + 597 \left(\frac{\mu}{\sqrt{\sigma\rho}} \right)^{0.45} \times \left(1000 \frac{Q_l}{Q_a} \right)^{1.5} \quad (1)$$

ここに, σ : 表面張力, v : 気液の相対速度, ρ : 密度, μ : 粘性係数, Q_l : 液体流量, Q_a : 気体流量である。

また, 先のリガメント (液糸) 分裂を仮定した E. MAYER は, 次式⁹⁾を導いた。

$$\bar{D} = 9\pi \sqrt[3]{16} B \left(\frac{\mu\sqrt{\sigma/\rho}}{\rho g \cdot u_g^2} \right)^{2/3} \quad (2)$$

ここに, β : リガメント形状等に関するパラメーター, g : 気体を示す添字。

これらの式が, 非ニュートン性を有する塗料の微粒化に対し, どの程度の妥当性を有するかは, 必ずしも明確でない。

エアスプレーガンにおける霧化の基本構造は, 最近においても, 大きな変化は見られない。実際的な技術対象は, 単なる霧化向上よりも, ノズル・キャップの互換性を含めた霧化性能の安定性に注力されているように見うけられる。

ただ, 中には工夫がこらされている構造も見うけられる。たとえば図-2 に示すノズル・キャップ¹¹⁾は, 中心孔をテーパ状に広げ, 塗料の分散を促進し, 塗料の霧化分散密度を低くして, 微粒化の向上を計ったものである。

また, 最近のスプレーガンのある機種では, 噴霧形状の改良が報告¹²⁾されている。これは図-3 に示すように, 噴霧の全体形状を, 直線状の扇形から, 通称チューリップボタンと呼ばれるつりがね形に改良したもので, 構造的には, 内部空気通路の圧力損失を最小におさえ, さらに空気キャップ内部の空気溜りを増加させた形をとっている。

この噴霧形状の変化は, 基本的には, 微粒化に大きな

変化を与えないが, つりがね形の噴霧形状にすることにより, 噴霧端部での塗料の分散密度が減少し, 通常中高と呼ばれる中央に密度を大きくもつパターン形状を形成し, 塗装上, 塗り重ね作業を容易にして, 作業性を向上させている。

また, 同じく空気霧化を主体としたエア霧化方式の静電丸吹ガン¹³⁾では, 塗料を環状の薄いスリットから噴出させて液膜厚さを減少させると共に, 気液の接触面積を増大させて, 微細な塗料粒子を得ている。

膜厚分布 パターン形状 噴霧形状

図-3 チューリップボタン特性

図-2 超薄膜霧化方式¹¹⁾

図-4 環状スリット形の静電丸吹ノズル¹³⁾

3.2 エアレススプレー

エアレススプレーは、9.8~19.6 MPa の高圧下の塗料を、長楕円形の開口部をもつノズルから噴出させ、微粒化させる方法で、大噴出量、高粘度塗料に対して良好な微粒化特性をもつ。この方法は、塗料の霧化に空気を使用しないということから、エアレスと呼ばれているが、減圧空气中でエアレススプレーを行った場合¹⁴⁾、塗料は微粒化されず、薄膜状のまま放出されることから、エアレスの意味するところは、塗装機の中に、霧化エアシステムを具備していないという意味であり、大気中に存在する空気が、霧化と本質的に関わりを持っている。

この微粒化の方法についての研究は、やはり、燃料の霧化という観点から、古くから行われ^{15~20)}、このうち棚沢ら²⁰⁾は、この方法が、二流体噴霧による微粒化とほぼ同じ特性をもつことを報告している。塗料を扇状薄膜として高圧で噴出すると、その薄膜上の小さな乱れは、大気空気と接触し、伸展して、薄膜の波状分断から細紐状に変形をし、分裂して微粒化される。この場合、生成粒子径は、塗料の噴出圧力、すなわち噴出速度の増加に伴い減少し、また噴出するノズルの開口部の厚み、すなわち、液膜の厚さの増加に伴い大きくなる。

このエアレススプレーにおける霧化上の問題は、扇形液膜および噴霧の両端に、リム状に存在するテールと呼ばれる端部噴流であり、これは噴出前ノズル内流動における粘性、すなわち、境界層における速度欠損²¹⁾および噴出口端部V状壁面による速度欠損等により、噴出液膜端部の噴出速度が中央部に比べ低下し、相対的に粗い粒子が生成されるものと考えられる。

このテールの防止対策として1つは、塗料をノズル軸線方向に対し、直角2方向から衝突するような形²²⁾でノ

ズル内部に流入させ、ノズル内部で人為的に大きな乱れを発生させ、流れを乱流状にして、境界層速度欠損を少なくしようとするもので、製品としても既に販売されている。

また、ノズル内流路部から開口部にかけての流路形状を図-6に示すように段差²³⁾とし、開口部両端の形状を矩形にして、開口端部の壁面による速度欠損を減少させる考案がなされている。

これらの考案により、従来のノズルチップにくらべテールの減少が計られているが、一方で、低噴出量化、飛散軽減等から、低圧での吹付が促進されている現状では、エアレス用ノズルチップとしては、一層の改良が要求されている。

3.3 エアエアレススプレー

エアレススプレーに空気を付加することにより、エアレススプレーの長所を保ちつつ、その欠点の改良を計ったのが、エアエアレススプレーである。この塗装機は、エアスプレーに対しては、塗着効率、入り込み性、飛散減少において優れ、またエアレススプレーに対しては、微粒化、噴霧状態、パタンの可変性において優れており、最近、各塗装機メーカーから紹介^{24~27)}されている。と同時に、静電塗装機としても広く使われ始めている。エアレススプレーに対しこの方式は、上記のような利点

図-5 内部衝突形ノズルチップ²²⁾

図-6 テール減少ノズルチップの内部形状²³⁾

エア無し
 $P_p = 4.9 \text{ MPa} \cdot g$
 $P_a = 0$

エア有り
 $P_p = 4.9 \text{ MPa} \cdot g$
 $P_a = 196 \text{ kPa} \cdot g$

図-7 エアレススプレーの噴霧形状
(P_p : 塗料圧力, P_a : 空気圧力)

SAUTER MEAN DIAMETER = 37.06
VOLUME MEAN DIAMETER = 51.69

SAUTER MEAN DIAMETER = 29.69
VOLUME MEAN DIAMETER = 42.26

図-8 エアレススプレーの粒径分布
(メラミン樹脂塗料, 粘度 $0.05 \text{ Pa} \cdot s$)

を持つが、微少量の空気を、エアレススプレーの端部噴流または、その近傍にあてることにより、塗料薄膜端のリム部に乱れを与えて分裂を促進させ、テールを除去している。また、噴流端のみならず、塗料薄膜部へ空気を当てることにより、薄膜上での波状乱れの促進がなされ、変形が早期に細紐状に移行し、微粒化が促進される。またこの時、噴霧の分散が増進され、噴霧全体がソフトなつりがね形状となる。図-7に噴霧形状を、図-8に空気の有無の違いによる粒径分布、および平均粒子径の比較を示す。

この場合、エアレススプレーをエアエアレス化することにより、生成粒子径分布は径の小さい領域に移行し、ザウター平均粒子径では、約 20%, $7 \mu m$ 減少している。

3.4 静電回転霧化

最近、特に自動車塗装において、塗面の仕上りが重視されているが、回転するカップ状の霧化頭内部に塗料を供給し、遠心力でカップ内を先端方向に流動させ、その先端部から遠心力によって、塗料を細紐状に放出・霧化させる回転霧化静電塗装機は、塗料粘度を上げて比較的微細な粒子が生成される^{28,29)}ことなどから、特に良質の塗面を要求される塗装分野で不可欠とされていると同時に平板塗装に対し 90% を越す高塗着性から、一般のライン塗装分野においても著しく普及してきた塗装方法である。この塗装法において従来は、高粘度塗料に対する泡の発生が問題視されていたが、カップの先端に、塗料の流動を細紐状に放出させるように規制する溝を設けることにより、 $0.15 \text{ Pa} \cdot s$ を超える高粘度塗料においても塗面上の発泡を見ることのない塗装機として改良された。

この回転霧化塗装機については、館らが一連の実験報告²⁹⁻³²⁾を行っており、その結果、微粒化に影響を与える要因は、塗料流量、回転数、塗料粘度の順で大きく、印加電圧やカップ先端の鋸歯や溝の数は、ほとんど平均粒子径に影響しないことを報告している。また、この種の塗装機の最近の特徴として、塗料の高粘度化と関係し高回転化が計られているが、カップ回転数を 40,000 rpm 以上により、従来の回転数領域にくらべ、その粒子径は図-9³³⁾に示すように微細になることが報告されている。ただ一方で、48,000 rpm までの塗装テストを行い、カップ回転数を増すと、塗料粒子の塗着粘度が増すと同時に、光沢鮮映性が低下するという報告³⁴⁾がある。この場合、分散剤の使用による光沢鮮映性の向上が同時に報告されているが、高回転での塗装においては、溶剤の蒸発性や塗料の分散剤を含めた塗料の調整

条 件 (1) 塗 料 : アミノポリエステル塗料 (白) vis 30*/ザーン#2
M Ω 0.38M Ω /R.P.T

(2)

回 転 数	シェーピングエア圧力
20 $\times 10^3$ rpm (NL)	1.0kg/cm ²
35 $\times 10^3$ "	2.0
50 $\times 10^3$ "	3.0

(3) 吐出量 : 300cc/min

(4) H V : 90KV -DC

(5) 粒径測定 スポットサイズ方式

図-9 超高速回転型ベルの微粒化特性³³⁾

等, ソフトの問題が大きく関係していると考える。

4. 塗装以外の分野での霧化技術

古くから霧化に関しては, 燃料の霧化という観点からの開発, 研究が多く, この分野では多くの報告がなされている。ここ数年来の特徴は微粒化対象として, 微粉炭と水および微量の添加剤の混合物である石炭-水スラリー(CWM)に関するもの³⁵⁻³⁹⁾が目につくが, 霧化機についても, いくつか技術的に特徴のある報告がなされている。

たとえば, ホロコーン形の旋回噴霧ノズルの旋回を中心にジェットを流入させて, 分散量の分布を変え, 中心軸付近の分散量が極端に減少する欠点の改良に関する報告⁴⁰⁾がある。ジェットのオリフィス口径を大きく取ると中心側の分散量が大, 小さく取ると外周側の分散量が大となり適当なオリフィス径を選ぶことによって, かなり広い領域にわたって均一な分散分布が得られる。

また, 高粘性タールピッチの微粒化を目的とした極高粘性流体用バーナの開発に関する報告⁴¹⁾がある。これは図-10に示すように, 霧化効率の良い内部混合形ノズルの中で気液の相対速度を増加させるため, 液ジェットを気流に対して逆噴射形に配置したもので, 粘度 $2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ の水あめにおいて, 気液の質量比 $\text{Ma}/\text{Ml}=1$ の条件で, ザウター平均粒径として $60 \mu\text{m}$ 以下を得ている。

また乗用車における低負荷時の少量燃料の安定燃焼のために, 圧電素子によりホーンとリング振動子を 27 kHz で振動させ, リング内面に噴射されたガソリンを微

粒化する超音波アトマイザーの紹介⁴²⁾があるが, これにより生成粒子径はアトマイザーを使用しない場合に比べ $1/10$ の $30 \mu\text{m}$ となる。また液柱を気流により微粒化したのち, 大きな粒径の液滴を超音波振動面に供給し, 再微粒化させる方法⁴³⁾では, 気流による微粒化, または超音波微粒化の単独使用よりも小さな粒径を得ている(図-11 参照)。また超音波噴出弁の振動子の先端を図-12に示すように多段の階段状にする⁴⁴⁾ことにより, 棒状の振動子にくらべ生成粒子径をかえることなく微粒化量を増すことができる。

また小さな気液流量比まで, 生成噴霧の平均粒径が一定に保たれる液膜微粒化形気液噴射弁(図-13)を用いた均一粒子生成に関する実験が報告⁴⁵⁾されているが, それによると, 空気流量を一定に保ちながら気流出口断面積をかえることによって, ターンダウン比 10 の範囲(液体流量 $0.5 \sim 5.0 \text{ g/sec}$) で平均粒径を一定に, また液体流量の変化に対し, 気液流量比を一定に保つことによって平均粒径を一定に保つことができる。

一方霧化というより微粒化技術の応用の一つにプリンタにおけるインクジェット方式がある。最近のインクジェット方式の紹介⁴⁷⁾によると, 主流はオデマンド方式で,

図-10 極高粘性液体用内部混合形空気噴霧式バーナ¹⁴⁾

図-11 生成粒子径比較⁴⁸⁾

図-12 振動子の形状および集液パイプ⁴⁵⁾

図-13 液膜微粒化形気液噴射弁⁴⁶⁾

この原理はパルス電圧を与えることによる圧電素子の振動で生じた圧力波を利用して、ノズルからインク滴を押し出す方式である。この方式は表面張力の作用でノズル先端に形成されたメニスカスを圧電素子を駆動して吹き飛ばすが、使用インクの表面張力が微弱なため、メニスカスの成長に時間がかかり、インク滴を短い間隔で吐出するのが難しい。技術改良としては、ダイアフラムを使用して圧力を増幅させたり、インク供給口にマイクロバルブを付けたりの工夫がされている。ここで用いられているノズル口径は $20 \sim 50 \mu\text{m}$ で、一般に生成粒子はノズル口径より大きい。パルス電圧をかける前に負の逆電圧をかけるとノズル口径以下の粒子生成も可能となる。

一方静電形のインクジェット方式では、印加電圧の増加により粒子発生周波数が高まると共に、生成液滴径は減少する⁴⁸⁾。

また一定の液滴径を得るにはノズル先端と加速電極間の距離に応じて印加電圧を増加させる必要がある。

5. おわりに

決して最近のものばかりではないが、資料に基づき塗装における霧化技術および一部他分野の霧化技術について概括的に見た。一方で微細な塗料粒子生成を目的とした塗装機の開発に注力されながらも、もし霧化が表面積のコントロールという観点を持つならば、霧化技術の目指すところも任意の粒径を生成し得る霧化機の開発であろう。塗装の目的、被塗装物の形状、要求品質、作業環境、作業性等、塗装における現在の要求条件の多様化を考えると、それらの全てに対応しきる単一の塗装機の開

発は困難である。今後は一つ一つの要求条件の特性を明確にしつつ、それに対応する霧化頭および塗装機の開発が必要である。と同時に塗装機開発に携わる者が一つ一つのデータを明確にしつつ、積み重ねながら塗装の技術を解明、開発することが必要であろう。

引用文献

- 1) 舘 和幸, 奥田匠昭, 小山陽一, 鈴木正一: 色材協会誌, 59 [12], 711, 1986
- 2) 抜山四郎, 棚沢 泰: 日本機械学会論文集, 4 [14], 86, 1938
- 3) 抜山四郎, 棚沢 泰: 日本機械学会論文集, 4 [15], 134, 1938
- 4) 抜山四郎, 棚沢 泰: 日本機械学会論文集, 5 [18], 64, 1939
- 5) 抜山四郎, 棚沢 泰: 日本機械学会論文集, 5 [18], 68, 1939
- 6) 抜山四郎, 棚沢 泰: 日本機械学会論文集, 6 [22], II-7, 1940
- 7) 熊川彰長, 永井伸樹, 梅原正彦: 液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 第4回, 1, 1975
- 8) 森田信義: “液体の微粒化に関する講習会”, テキスト, 67, 1976
- 9) E. Mayer: *ARS Journal*, 1783, 1961—12
- 10) M. Adelberg: *AIAA Journal*, 6 [6], 1143, 1968
- 11) U. S. P. 3,746,253
- 12) 塩田 勲: 工業塗装, No. 85, 63, 1987
- 13) 実用新案公開 昭 52-123565
- 14) 森田信義, 小野寺芳彦, 水落郷継, 岩腰 茂, 神本修次: 塗装工学, 14 [12], 482, 1979
- 15) 川田正秋: 日本機械学会誌, 36 [190], 118, 1933
- 16) 川田正秋: 日本機械学会誌, 39 [234], 556, 1936
- 17) 川田正秋: 日本機械学会誌, 40 [244], 8, 1937
- 18) 川田正秋: 日本機械学会論文集, 4 [16], 128, 1938
- 19) 川田正秋: 日本機械学会論文集, 4 [16], 133, 1938
- 20) 棚沢 泰, 豊田章一郎: 日本機械学会論文集, 15 [52], 9, 1949
- 21) 林 信之: 色材研究発表会講演要旨, 52, 1983
- 22) 特公昭 54-34170, 特公昭 55-8218
- 23) 特公昭 47-4799
- 24) 沼田和幸: 工業塗装, No. 83, 37, 1987
- 25) 吉光亮二: 工業塗装, No. 85, 15, 1987
- 26) 瀬川俊夫: 工業塗装, No. 85, 23, 1987
- 27) 服部修一: 工業塗装, No. 85, 44, 1987
- 28) 森田信義: 工業塗装, No. 84, 67, 1987
- 29) 舘 和幸, 山田勝則, 奥田匠昭, 鈴木正一: 色材協会誌, 59 [5], 265, 1986
- 30) 舘 和幸, 山田勝則, 奥田匠昭, 鈴木正一: 色材協会誌, 58 [7], 390, 1985
- 31) 舘 和幸, 山田勝則, 奥田匠昭, 鈴木正一: 色材協会誌, 60 [4], 197, 1987

- 32) 舘 和幸, 山田勝則, 奥田匠昭, 鈴木正一: 色材協会誌, 60 [6], 321, 1987
- 33) 斉藤英治: 工業塗装, No. 64, 69, 1983
- 34) 岩崎明郎, 西野 誠, 溝口直司, 宮武正幸: 色材研究発表会講演要旨集, 128, 1986
- 35) 稲村隆夫, 永井伸樹, 稲垣英人: 日本機械学会論文集, 53 [488], 1386, 1987
- 36) 渡辺俊玄, 松永 易, 稲村隆夫, 永井伸樹: 第 14 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 13, 1986
- 37) 佐賀井武, 定方正毅, 木藤隆文: 第 14 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 43, 1986
- 38) 小林啓信, 小豆畑茂: 第 14 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 47, 1986
- 39) 佐藤一教, 沖浦邦夫, 馬場 彰, 正路一紀: 第 14 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 51, 1986
- 40) 黒沢 敦: 日本機械学会論文集, 52 [473], 345, 1986
- 41) 大谷茂盛, 三浦隆利, 丹野庄二: 日本機械学会誌, 88 [800], 36, 1985
- 42) 日経メカニカル, 1984, 12~17, 36, 1984
- 43) 大須賀稔, 山内照夫, 野木利沼, 大山宣茂: 第 14 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 85, 1987
- 44) 遠藤正己, 小久保確郎, 平林英男, 徳岡直静: 第 12 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 71, 1985
- 45) 外海卓郎, 遠藤正己, 小久保確郎, 河上 誠, 徳岡直静: 第 14 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 91, 1987
- 46) 稲村隆夫, 永井伸樹, 井熊孝夫: 日本機械学会論文集, 52 [476], 1984, 1986
- 47) 日経メカニカル 1987, 1~26, 65, 1987
- 48) 富田幸雄, 石橋幸男, 横山俊雄: 日本機械学会論文集, 52 [475], 1215, 1986