

液体の微粒化技術と社会ニーズ

Liquid atomization technology and social needs

今井 健太¹

Kenta Imai

小金井 稔元²

Toshiyuki Koganei

要 旨 : 液体の特徴は、容器に合わせて自由に形を変えることができることと自ら表面張力で丸くなろうとすることである。この性質を利用して、液体を微粒化し空中に分散させることを微粒化技術と言い、その技術を使って様々な産業が発展してきた。微粒化に対する社会ニーズの変遷と微粒化技術の発展について考察する。

Abstract : The liquid characteristic is that it can change form in conformity to a container freely and is going to curl up by surface tension by itself. Liquid atomization technique means that liquids are scattered in the air by using this property. And various industries developed using the technique. In the text, I consider the change of the social needs for the liquid atomization and the development of the atomization technology.

キーワード : 微粒化、液体、粒子、噴霧

Keyword : Atomization, Liquid, Particle, Spray

¹ 今井 健太 大川原化工機株式会社 特機グループ
224-0053 横浜市都筑区池辺町 3847 k_imai181@oc-sd.co.jp

² 小金井 稔元 大川原化工機株式会社 生産部特機チーム
224-0053 横浜市都筑区池辺町 3847 t_koganei108@oc-sd.co.jp

2012.1.4 受付, 2012.5.15 受理

社会技術革新学会第5回学術総会(2011.9.28)にて発表

1. 緒言

昔、家庭でアイロンをかけるときに良く使った霧吹きは、よくできた外部混合式の二流体式噴霧器であった。エンジンの気化器の原理もこれと同じである。気化器がダイムラーによって発明されたのは 1880 年頃のことであるが、その後しばらくの間は気化器での燃料の微粒化について研究らしい研究もされぬまま、実用に耐えるエンジンが作られていた。このように液体の微粒化技術は、現場での経験と勘と工夫に基づいた試作とテストの繰り返しによって一応の対応ができるものとして開発されていた。しかし今日、一般の技術レベルが著しく向上し、環境問題、省エネルギー、省資源などに対する要求が厳しくなり、他の工学の分野と同様に、学問的な研究とその結果への依存の必要性が急に高まってきた。

液体の微粒化が関係する分野は、機械工学ばかりでなく、食品、化学工業、農業、医療など様々な分野に及び、その応用例は広い。表 1 のように、燃料噴射、噴霧塗装、噴霧乾燥、噴霧冷却、表面処理の他、殺虫剤、ヘアスプレーなど家庭用品にまで及んでいる。

本稿では、あまり紹介されることのなかった液体の微粒化技術について、その内容や社会ニーズの変遷の観点から考察する。

表 1 液体の微粒化技術を利用した代表的な例

内燃機関・燃焼炉	液体燃料の噴霧・燃焼、排ガス処理
化学工業	吸着塔、冷却塔、カーボンブラック製造
塗装	ペイント吹きつけ
医薬・食品製造	スプレードライ、コーティング、造粒
医療・調湿	加湿、調湿、ネブライザ
農業	液剤の散布、噴霧かん水
金属	融液原料の噴霧(固体粒子)
機械	噴霧潤滑、セミドライ加工
その他	消火、噴霧冷却、洗浄、インクジェット静電気除去

2. 液体についての技術

液体の微粒化を説明するにあたり、先ず液体の特徴について述べる。

地球上にある物質の多くは、その生成段階で液体の状態を通過している。岩石や金属でさえ一度

溶融し液体になり、その後固化して、ある形状を保っている。また、地球表面の 7 割を占める海も液体である海水でなりたっているし、雲や地上に降り注ぐ雨も水という液体である。人間も水と言う液体なしでは生きていけず、石油と言う液体の争奪で戦争に発展することもある。全ては液体から始まると言っても過言ではない。私たち人間は身近にあるこの液体の特徴を利用して様々な物を作り、文明や文化を発展させ現代に引き継いでいる。

まず、液体の特徴を考えた時、前述したように固体とは異なり自由に形を変えることができることがあげられる。そして、もう一つ重要な特徴として表面張力で自ら丸くなろうとする性質である。人類がこの現象に気づき、様々な用途を考え出したのは比較的最近になってからである。それまでの液体は単に流動性の良い性質だけが利用され、燃料や塗料、調味料や薬剤などの日常的に使われる液体の多くは単に容器に入れられて、そのままの状態で使用され流通していた。

3. 微粒化技術

3.1 微粒化の原理

液体の微粒化と言ってもその方法は様々であるが、基本的には Dombrowski らが提唱した液膜分裂理論に基づく。液膜状になった液体は空中に放出されると同時に、液膜に波が発生し、振幅が大きくなってやがて分裂する。その分裂過程は、まず液膜が紐状になり、紐にくびれができて離れ、分裂した粒子は空中で丸くなる(図 1)。したがって、如何に安定した液膜を作るかが微粒化の基本となる。

内燃機関の燃料の微粒化などでは、気道に設けられた細い孔から燃料を噴出させる。塗装や調味料、医薬品の微粒化では、様々な微粒化方法が採用されている。何れにしても、求められる液滴は粒径の揃った比較的細かい粒子である。しかし、液体は分裂過程を経て微粒化したとき、各粒子の粒子径は完全には均一にならず、ある粒子径を中心に小さい粒子と大きい粒子が存在する正規分布となる。

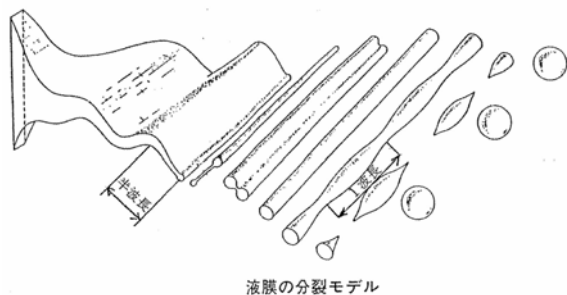


図1 液体の微粒化過程における変化

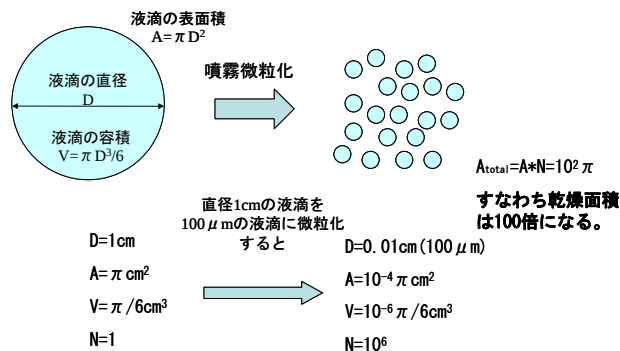


図3 微粒化と乾燥面積

3.2 微粒化の効果

液体の微粒化は従来、燃焼機器、塗装、粉末製造、医療、環境機器、農業など、多くの分野で利用されてきた。液体を微粒化することによって得られる主な利点としては、次のようになる。

- ・ 液滴数の増加により、広い範囲に均一に分散させることができる。
- ・ 表面積の増加により、反応あるいは熱移動や乾燥が促進される。
- ・ 表面張力で球状の形態をとる。

これらの利点のいくつかを利用するため、それぞれの分野において様々な微粒化の手法が用いられてきた。

図2のように一つの大きな粒子を微粒化することでより広範囲に均一に分散させることができる。また、図3のように、1cmの液滴を100 μmに微粒化した場合、その乾燥面積は100倍となる。先に述べた液体燃料の燃焼機関などは微粒化し、液滴を小さくすることで燃焼や乾燥を促進させている。また、スプレー式の塗料などは、広範囲に均一に噴射させることで斑を極力少なくし、液滴の乾燥面積を多くすることで瞬時に乾燥させ液垂れも生じないようにしている。何れにしても微粒化することにより、広範囲に効率よく液滴を分散し、短時間で乾燥する性質を利用している。

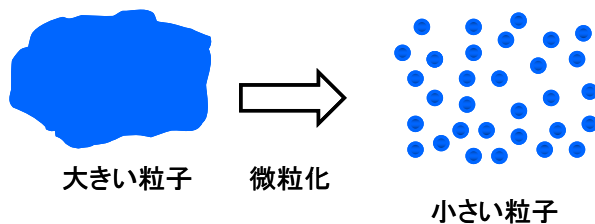


図2 微粒化の効果

3.3 微粒化方法

微粒化は様々な分野で利用されているが、その用途、目的により方法も異なる(表2)。以下にその一部を紹介する。

(1) ノズル噴霧方式

① 加圧ノズル

ノズル噴霧方式の一つとして圧力ノズル方式がある。液体原料はポンプやタンク内で加圧され、コアと呼ばれる旋回室に導入される。旋回力が与えられた液体原料は、オリフィスを通過し、膜状になり微粒化される(図4)。

圧力ノズル方式は、一品種の液体原料を大量に処理することに適している。粒子径制御は、ノズル部品であるコアとオリフィスの組合せを変える必要があり、連続運転の途中での変更は困難である。

② 二流体ノズル

二流体ノズルは液体原料に圧縮空気を接触させ、せん断することで微粒化を行う(図5)。

このノズルの特徴は、微粒化用の空気を調節することで液体原料の粒子径制御が可能である。しかし、高圧の空気が必要となるため、エネルギーコストが大きくなる欠点があり、少量の微粒化に適している。

③ 加圧二流体ノズル

加圧二流体ノズルは、前述の2種のノズルの特徴を生かしたノズルであり、中心部に加圧ノズルを備え、その周囲から低圧のアシストエアを流すことで微粒化を促進することができる(図6)。

アシストエアを使用することで、従来の加圧ノズルでは難しかった液体原料の粒子径制御が容易になった。

(2) ディスク噴霧方式

ノズル噴霧方式と異なりディスク噴霧方式は、

図 7 の様な高速で回転するディスクの中心部に液体原料を供給し、遠心力によりディスク外周部で液体の微粒化を行う。液体原料の粒子径制御は、ディスクの回転数を可変することでコントロールが可能となる。

特徴は、ノズル方式より液体原料の粒子径制御が容易であり、粒子径もノズル方式と比較し均一である。しかし、構造が複雑で、メンテナンスには専門的な知識と技術・経験が必要となる。

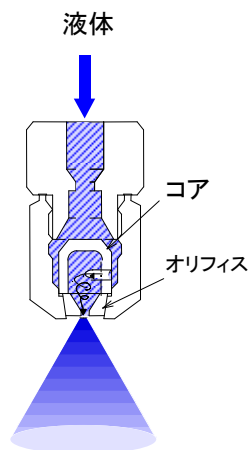


図 4 圧力ノズル

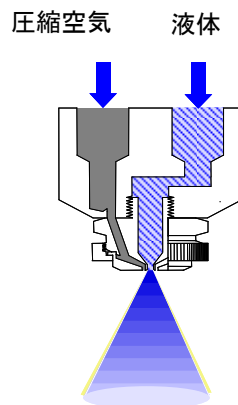


図 5 二流体ノズル

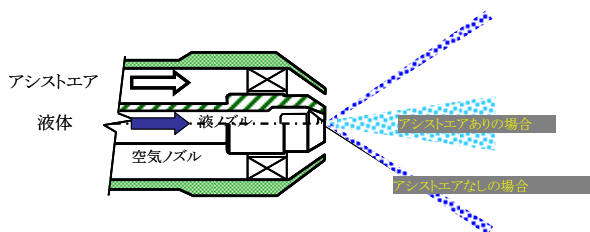


図 6 加圧二流体ノズル

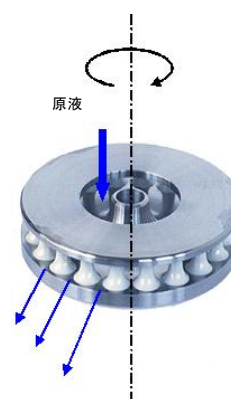


図 7 噴霧盤

表 2 微粒化装置の特徴

方式	回転円盤	加圧ノズル	二流体ノズル
粒子径の制御	運転中の制御可能	運転中の制御困難	運転中の制御可能
送液ポンプ	低圧ポンプ	中・高圧ポンプ	低圧ポンプ
処理液の物性	比較的高粘度に対応	高粘度に不向き	高粘度に向く
構造	ノズルに比較し複雑	単純	単純
処理量	少量多品種、中処理	一品種大処理量	少処理量
立ち上げ停止	可能	困難	可能

4. 社会ニーズの変遷

先にも述べたが、液体を微粒化して様々な用途に使用するようになったのは比較的最近である。それまでの液体は単に流動性の良い性質だけが利用され、燃料や塗料、調味料や薬剤などの日常的に使われる液体の多くは単に容器に入れられそのままの状態で使用されていた。しかし、技術革新と社会変革第1巻第1号でも報告したように、例えば粉乳や調味料等の食品では長期保存するために乾燥させて、粉末化するが、単純に乾燥するだけでは一度に処理する量も限られて、時間もかかり効率が悪い。そのため、短時間で大量に粉末化するために、乾燥の過程で微粒化を行うようになった。食品や医薬品などの分野では、微粒化した液滴を乾燥することで取扱いや後工程の効率化に寄与している。このように、液体の特徴である自由に形を変える性質と表面張力で丸くなる性質を利用して、今日の社会は大きく発展してきた。

イギリスで始まった産業革命の進展とともに発展した内燃機関(エンジン)は、初期のころは気化器を用いたガスエンジンが使用され、その後ガソリンエンジンが開発された。1890年頃になると自動車レースが盛んになり、より高出力・高性能のエンジンが求められた。最近ではガソリンエンジンも効率を上げるために、気化させた燃料に着火させる方法から、高速の空气中に燃料を噴出させて液滴にして、エンジン内部に送り込んで燃焼させる直噴式に切り替わってきた。燃料は微粒化されることによって表面積が格段に増し、瞬時に気化し燃焼する。これは高出力・高性能・省エネルギーに貢献している。

また、他の分野、例えば塗料では、かつて古代エジプトの壁画にも使われ、東洋特産の漆は漆器の表面に刷毛で塗られた。日本海海戦の勝利の要因の一つに当時の船底塗料の効用があるとも言われている。20世紀になり速乾性の塗料が開発されると同時に、スプレー塗料技術も開発され自動車生産のライン塗装が可能となった。

塗料を斑なく綺麗に早く塗装するにはどうするか、均質で取扱い易い調味料や薬剤を得るにはどうしたら良いか、その答えが液体の微粒化で表面張力を利用し、球形の液体に分散させることであった。

大処理量化や、高出力化が求められる中で生産

の効率化、燃焼の効率化を進めるため、液体を微粒化することで課題を解決してきた。さらに塗料の廃棄等にもなう環境汚染への配慮や、無駄の削減そして、製品の小型化などより高い品質がもとめられる中で、さらに細かく、均一な粒子が求められるようになっていった。

5. 液体の微粒化の用途の拡大

今日、これまでに紹介した産業のみならず、化学、農業、金属、機械、冷却、医療など、液体の微粒化技術が応用されている分野は広い。現代社会にとって非常に重要な分野となってきたIT関連製品やエネルギー、環境関連製品でも微粒化技術が応用されている。積層ピエゾヘッドを使ってインク液滴を噴射させて印刷するプリンタも微粒化技術の一つであり、今注目を集めている二次電池の材料もスラリを微粒化し、乾燥させる噴霧乾燥技術によって作られている。しかし、既に紹介したように物理的な液膜分離から生産される液滴には粒度分布があり、今後は如何に、粒度分布の狭いシャープな液滴粒子を作るかが課題となっていくだろう。

6. 液体の微粒化の今後の課題

粒度分布がシャープな液滴にすることは、燃料の世界では気化する時間が均一になり燃焼制御や効率を良くし、塗装では均質な塗膜を可能にし、二次電池材料では安定した充放電性能を保持するのに重要な課題である。

現在均質な粒子径を得る微粒化の方法の一つとして、微粒化装置に振動を与えることが提唱されている。どのような液体原料にどの程度の液滴径を想定してどの程度の振動を与えるとシャープな粒子径を持った液滴が得られるかは、今後の課題である。

このように微粒化技術は、現代社会の多くの産業設備の基本要素として重要な位置をしめている。この微粒化技術には、先に述べたノズル方式や回転円盤方式などが考案されているが、利用される産業分野において、さらに様々な装置が付加され発展してきている。

液体の微粒化と乾燥そして、粒子作りに加えて、更に社会ニーズが求める均一な液滴粒子径をキー

ワードに、微粒化技術がさらに展開していくことが想定される。

参考文献・参考資料

- 1) 倉林俊雄：液体微粒化技術の最近の動向
日本機械学会誌 第 89 巻 第 811 号
- 2) フジテクノシステム：微粒子工学大系 第 1 巻 基本技術(2001)
- 3) フジテクノシステム：微粒子工学大系 第 2 巻 応用技術(2002)
- 4) 鈴木孝司：液体微粒化の基礎

- 5) 森北出版：アトマイゼーションテクノロジー
-微粒化の基礎と基本用語辞典-(日本微粒化学会 2001)
- 6) 小金井稔元：粉末製品の性状の要求変化に伴う噴霧乾燥技術の発展 - 液体の微粒化から見た 1975 年からの 20 年 - 技術革新と社会変革 第 1 巻 第 1 号
社会技術革新学会 (2008)
- 7) ウィキペディア フリー百科事典
- 8) 大川原化工機株式会社 会社案内及びカタログ