

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—

The Innovation in Spray Drying Technologies
Driven by Varied Requirement for Powder Property
—On Liquid Atomization Techniques in Two Decades since 1975—

小金井 稔元

Toshiyuki KOGANEI

要 旨: 微粒化した原料を熱風中に散布し、瞬時に乾燥させることができる噴霧乾燥法は、単なる乾燥操作とは異なり、乾燥製品に多くの付加価値をもたらす。日本において1975年から始まる20年間は、高度経済成長も終わり新しい時代へ移行する変革の時代であったが、スプレードライヤもその社会変化に応え、様々な改良を加え発展してきた。本稿では、微粒化、粒子径制御及び新開発ノズルとディスクを通してスプレードライヤの発展経過を検証し、今後、更に発展していく噴霧乾燥技術について考察を加える。

Abstract: Spray drying has so many characteristics comparing with other drying techniques, because it is able to dry the fine liquid particles into the hot air quickly. The twenty years since 1975, which were just after the age of high economic growth in Japan, were the new period of reforming and revolution. Significant advance in spray dryer had been made in that period by improving technologies in response to varied requirement of society. This article aims at reviewing the spray dryer developments, which were discussed in terms of atomization, particle size control, new type nozzle and M type disc of the spray dry techniques. A tomorrow's spray dryer technology is also projected. .

キーワード: 噴霧乾燥、液微粒化、粒子径制御、可燃性液体、エアアシストノズル、M type ディスク

Keywords: Spray drying, Atomization, Particle size control, Air assisted pressure nozzle, M type disc

著者 小金井稔元, 大川原化工機(株)特機・メンテナンス事業部, 224-0053 横浜市都筑区池部町3847 eigyo@oc-sd.co.jp

2008.1.17 受付 2008.4.4 受理

社会技術革新学会第1回学術総会(2007.10.12)にて発表

1. 緒言

人類は食糧を保存するため、太古の昔から乾燥操作を利用してきた。収穫した海の幸や山の幸を保存食として保管するため、それらに含まれている水分を取り除き、腐敗を防止する必要があった。天日で魚を乾燥させ干物としたり、木を燃やし発生した煙でいぶすことによって魚や肉の燻製を作ったりして食糧の保存を行った。しかし、動物の乳などの液体はそのままでは乾燥することができず、ヨーロッパではバターやチーズなどに加工して保存していた。

時代は変わって現代でも、これらの保存食品は我々の食生活にとって大切な食材として食卓をにぎわしているが、新たに粉末コーヒーや粉末調味料なども食材のなかで重要な位置を占めるようになってきている。これらは、コーヒーや調味料の液体原料を直接乾燥させて粉末化しているのだが、天日はもちろん直接火を使うのではなく、加熱した熱風中に微粒化した液体を散布して乾燥させている。

このように液体を微粒化して直接乾燥することによって、粉末製品を得る技術を噴霧乾燥法（スプレードライ）と言う。液体を微粒化することによって、他の乾燥機ではできない球状で流動性の良い粉末製品（**図1**）を容易に得ることができる。

卵や牛乳の乾燥保存から始まった噴霧乾燥技術であるが、液体を微粒化し乾燥させることによってさまざまな特徴が生まれることから、食材に留まらず多くの産業の生産技術として高い評価を得ている。つぎに、世界の歴史のなかで、噴霧乾燥装置がどのような分野に利用され発展してきたかについて、説明を加える。

2. 時代背景とスプレードライヤ（噴霧乾燥装置）の変遷

(1) 1960年代までの変遷

スプレードライヤ（**図2**）は、多くの機械や装置と同様に、イギリスに始まった産業革命と同時期の1800年代以降にアイデアが提案され、装置

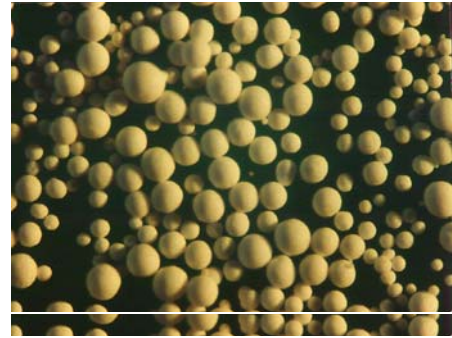


図1 スプレードライヤで乾燥した粉末製品



図2 試験研究用スプレードライヤ L-8i

化されていった。まず、卵の乾燥で初めてスプレードライヤが特許化され（La Mont,1865）、その後、噴霧乾燥製品の詳細が記述された特許(Percy,1872)が、アメリカで発表された。

1920年代には乳製品や洗剤において工業化が開始されたが、スプレードライヤはこれに応じてヨーロッパを中心に発展した。また、1930年代になって携帯食品分野が進展するとスプレードライヤも当該食品製造プロセスからの需要増加の影響を受けている。

一方、我が国では、第二次世界大戦を経て高度経済成長とともにスプレードライヤの需要も伸び、1960年代に入り粉末スープやインスタントコーヒーなどの乾燥や漢方薬の乾燥にスプレードライヤが利用されるようになっていった。また、無機材料の分野では、磁性材料であるフェライトや電子基板等の材料となるセラミクスなどの乾燥造粒にスプレードライヤが使われ、製造工程としてなくてはならない存在となっていった。この間、スプレードライヤに要求される機能は、食品では大

型で大量生産を、無機材料では成形性や取り扱いの簡便性が求められ、150~400 μm とできるだけ大きい平均粒子径を持った乾燥製品の生産が行われた。

(2) 1975年からの20年

1970年代に入ると産業界はオイルショックの影響を受け、企業の設備投資の抑制や石油以外の代替エネルギーへの関心が高まっていった。また、重厚長大から軽薄短小の産業構造に移行し、スプレードライヤはより付加価値の高い粉末製品の製造装置として位置づけられ発展した。

このような社会情勢の変革による要求を満たすため、スプレードライヤを構成している要素部分である微粒化装置や熱風分散方式、乾燥粉末製品のハンドリング等にさまざまな考慮がなされていった。その結果、スプレードライヤの需要は、1990年以降の電子部品のIT化によって高まり、バイオ、医薬分野にまで拡大していった。図3にスプレードライヤの歴史と社会の変化を示す。図3中①のMCディスクの詳細は後述するが、乾燥製品の粒子分布を揃えることができる微粒化用のディスクである。粒子径の揃った乾燥製品はセラミックスの製造工程で求められる。また、②のクローズド・スプレードライヤは超合金原料の乾燥造粒用の装置として開発され、乾燥装置の系内を窒素ガスで

イナート状態にし、可燃性溶剤等が安全に扱えるよう考慮した装置である。超硬工具用の原料の乾燥造粒にはなくてはならない装置である。③のスプレーバッグ・ドライヤは乾燥塔をろ布で構成し、乾燥製品を一括回収でき、電子部品材料に金属コンタミが発生しないよう考慮した装置である。

以上は無機材料を扱うスプレードライヤとして開発されて上市されていった装置であるが、食品乾燥粉末に要求される溶解性を考慮したスプレードライヤとして、④の流動造粒スプレードライヤがある。この装置は、スプレードライヤの乾燥塔内で原料の乾燥と同時に粒子同士を結合させ、溶解性の良い顆粒製品を得ることのできるスプレードライヤである。⑤の噴霧熱分解装置は、単に乾燥操作だけでなく、1,000 $^{\circ}\text{C}$ 以上の雰囲気微粒化した原料を導入し、熱分解によってセラミックなどの基礎材料を合成する装置である。

3. 液体の微粒化から見た
1975年からの20年間

スプレードライヤに要求される乾燥製品の品質は多岐にわたる。それらを実現したコア技術は微粒化と乾燥である。特に微粒化は、スプレードライヤの特長や能力を決定する大きな要素であり、スプレードライヤの発展は微粒化技術の発展と言っても過言ではない。以下に、1975年からの20年

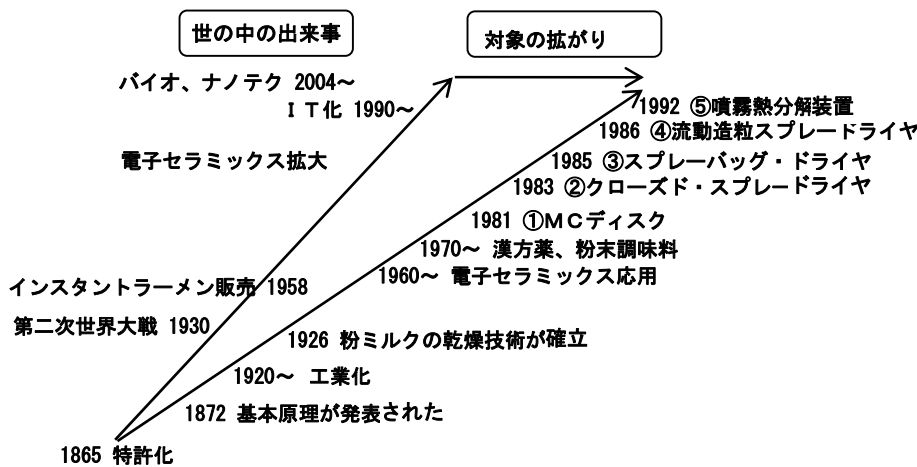


図3 スプレードライヤの歴史と開発装置

を微粒化技術から考察する。

液体の微粒化方式は大きくノズル噴霧方式とディスク噴霧方式に分かれる。ノズル噴霧方式は大量に 150 μm を超えるような平均粒子径を持った乾燥製品を生産するときに用いられる。ディスク噴霧方式はノズル噴霧方式と比較して少ない処理量で 150 μm 以下の乾燥製品を生産するときに用いられる。以下にそれぞれの構造とその特徴を示し、スプレードライヤがどのように時代の要求に応えていったかを説明する。

(1) ノズル噴霧方式

ノズル噴霧方式の一つとして圧力ノズル方式がある。液体原料はポンプで加圧され、コアと呼ばれる旋回室に導入される。そこで旋回力が与えられ液体原料は、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大量生産を目的としたスプレードライヤに適用され、我が国の高度経済成長を支えた。特に一般消費者に直接使われる粉ミルク、洗剤、大豆蛋白などの製造に多く使われた。しかし、液体原料の粒子径制御は、ノズル部品であるコアとオリフィスの組み合わせを変える必要があり、生産途中の変更は困難であった。

(2) 加圧 2 流体ノズルの開発

1970 年代に入ると単に大量に処理する時代は終わり、効率的な生産や品質の向上が要求されるようになっていった。そこで、加圧ノズルの特長を生かし、変化する要求に応えるために新型ノズルの開発が計画された。

既に記述した圧力ノズルの他に、高圧空気の剪断により微粒化する 2 流体ノズルがあった。このノズルの特長は、微粒化用の空気を調節することによって液状原料の粒子径制御が可能であることである。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った。この二つのノズル特長を生かし、高濃度乳化重合度の 150 μm 程度の大粒子製造用ノズル噴霧方式のスプレードライヤの自動化を目的として開発されたノズルが、加圧 2 流体ノズルである。

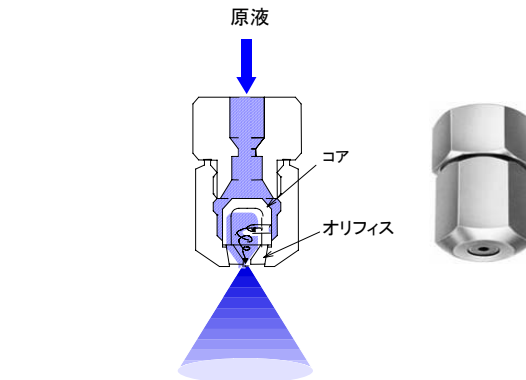


図 4 圧力ノズル

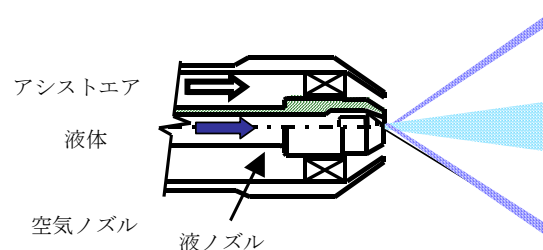


図 5 加圧 2 流体ノズルの構造

スプレードライヤの自動化を目的として開発されたノズルが、加圧 2 流体ノズルである。

加圧 2 流体ノズルは中心部分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。スプレードライヤ運転当初の不安定な微粒化を安定化して不良品の発生を防止するとともに液滴径の制御を可能にした(図 5)。液滴径の制御が可能になることで、ノズル噴霧方式の用途がさらに拡大した。その一例として、これまで段階的に行っていた顆粒製造を一段で行える流動造粒スプレードライヤに搭載することで安定的に顆粒製品を得ることも可能になった。

従来のスプレードライヤの下部に流動層を設置して加圧 2 流体ノズルと組み合わせることで、顆粒製品を製造するために必要な微粒子とともに造粒に必要な制御された粒子を流動層内に供給することができ、それによって微粒子の少ない多孔質な乾燥製品となり溶解性が改善される。また、流動層内で造粒するため、装置の小型化、省エネ化に貢献した(図 6)。

さらに、この加圧 2 流体ノズルを発展させ、排

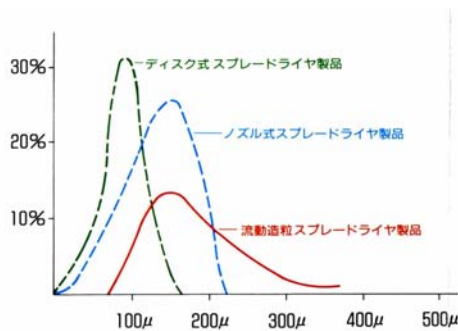


図6 粒度分布の比較例 (調味料)

ガス急冷設備用省エネノズルとして数億円の新規の市場開発につながった。

(3) M type ディスクの開発

ノズル噴霧方式と異なりディスク噴霧方式は、図7のよう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を微粒化する。粒子径の制御は、ディスクの回転数を可変とすることでコントロールが可能となる。

1980年代に入るとセラミックス・ブームが到来し、スプレードライヤもセラミックスの製造工程のなかで活躍する。ここで要求される乾燥粒子は、セラミックスの製造工程であるプレス成形時に高い成形密度や均一なプレス圧力伝播が可能となる粒子である。スプレードライヤには均一度の良い粒度分布を持った粒子を生産することが要求された。図7に示したM type ディスクは、図8に示す従来良く採用されていた他のディスクと比較して粒度分布の揃った粒子を造ることができ、セラミックスや電子材料向けのスプレードライヤに広く採用されるようになった。

図9はM type ディスクとその他のディスクの粒度分布を比較した図であるが、他のディスクと比較してM type ディスクの粒度分布は均一度が良いことがわかる。

5. 電子部品材料用スプレードライヤの推移

1975年は、第1回主要国首脳会議がフランスで開催され、我が国では沖縄国際海洋博覧会が開幕された年でもある。それからの20年間を振り返っ

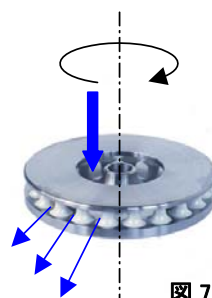


図7 M type ディスク



(a) Vs type ディスク (b) K type ディスク

図8 従来型ディスク製品

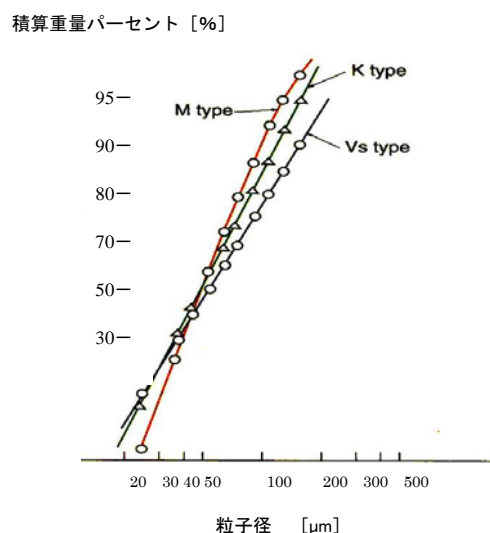


図9 ディスクタイプによるスプレードライヤ乾燥製品の粒子径分布

て見てみると、世界はIT化に流れ、同じく1975年に設立されたマイクロソフト社がウィンドウズを率いて、世界を席卷した感がある。その結果、多くの電子部品を内蔵しているコンピュータや携帯電話、液晶テレビなどが世界に広がり、その原料である無機材料（特に電子部品材料）の乾燥造粒操作は、なくてはならない技術となった。1975年代の電子部品材料生産用のスプレードライヤは、日本国内全体で大小合わせて年間30台ほど

が作られ、当社の前身である小知和化工機で、このうち 5~6 台を納入していた。1980 年代に小知和化工機を当社が吸収合併し、開発、テスト装置の設置を開始し、客先の要求粉体性状に応える装置改良に着手した。

1987 年頃までは従来と同様に推移していたが、1987 年から 1991 年にかけては日本のバブル期といわれ、装置の導入も盛んになり、電子部品材料生産用のスプレードライヤの国内設置台数も全体で年間 40~50 台が設置されるようになった。その中、粒子性状に着目した当社製の改良型スプレードライヤも年間 15 台程度が納入された。その後 1996 年頃までバブル崩壊後の設備不況と電子部品の小型化が進み、生産装置も少量多品種化に移行し、国内全体で年間 20~30 台の設置数のうち、当社での納入台数は 10~15 台で推移した。

1996 年以降では、電子部品の小型化、高性能化がさらに要求されるようになり、当社は年間 15~30 台の中小型の専用機を納入するようになった。21 世紀を前に、当社のスプレードライヤも 1000 台以上が世界で活躍し、電子部品材料の分野において 1975 年代には約 20%程度であった市場占有率も、1995 年代には約 40%にまで上昇し、現在では、電子部品材料分野の新規設置市場占有率は 80%を超え、重要な生産設備として我が国の産業

を支えている。

スプレードライヤは液体を微粒化し乾燥するという単純操作でありながら、奥が深く、まだまだ改良の余地のある技術である。食品の乾燥に始まり、既に、日本ではセラミックス、化学製品、触媒、健康食品、製薬など多くの産業に行き渡っているが、これからは、中国や他の途上国を中心に発展していこう。

現在、電子部品の小型・高性能化の時代となり、スプレードライヤでも、平均粒子径サイズが小さく粒度分布の狭いものが要求されている。今後とも我々は、スプレードライヤの製品粉体性状要求の変化に対し、速やかに装置開発を進めていくことが重要である。

参考文献

- 1) Masters, K.; "Spray Drying Handbook Fourth Edition," p.9, George Godwin, London (1985)
- 2) 相嶋静夫; "噴霧乾燥装置の運転と保守," 粉体と工業, 実用 粉粒プロセス技術 (1995)
- 3) 大川原正明; "噴霧乾燥と微粒化," 第4回液体微粒化講習会, 日本エネルギー学会液体微粒化部会 (1992年10月26, 27日)