

社会ニーズから生まれる粒子利用技術とその発展

—造粒装置としての噴霧乾燥装置の位置づけ—

The Particle Utilization Technology Responding to the Changes
in Social Needs and its Development

—Spray Dryer as a Particle Making Machine—

小 金 井 稔 元

Toshiyuki KOGANEI

要 旨 : 人類は自然の中に存在する物質を粒子の集まりである粉体、粉粒体という形状に整えて、社会が要求する様々な製品を作ってきた。現在もその流れは変わらない。本報では構成する粒子の持つ特性を考察し、特徴的な造粒技術である噴霧乾燥装置（スプレードライヤ）について説明する。

Abstracts: Human being has been making so many products from powder and bulk solid. Those are gathering with many particles that are prepared from natural resources. This activity is still ongoing even in today. Most of the products form particle as an intermediate materials.

In this article we argue the characteristic of the particle and make a comment on spray dryers which are the unit to perform the most characteristic method for making particle.

キーワード : 粒子、スプレードライ、微粒化、造粒技術

Keywords : Particle, Spray Dry, Atomization, Particle Making Technology

著者 小金井稔元 大川原化工機(株)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

2010.1.5 受付, 2010.6.3. 受理

社会技術革新学会第3回学術総会(2009.9.30)にて発表

1. 社会ニーズと粒子の係わり

我が国では、紀元前一万年前に始まった縄文時代に、人々は泥を集めて器を作り、焼いて土器を作った。様々な粒子が適度に混合した泥の中には、パイプダーとなる粘土鉱物と、基材となる砂や土が含まれ土器が形作られた。現代のセラミックス製品の製造原料に通ずる粒子が整っていた。

紀元前四世紀頃になると弥生時代が始まり、大陸文化の影響を受けて鉄器が使用されるようになった。様々な粒子の集まりである砂から比重の差を利用して酸化鉄である砂鉄を回収し、鍛錬することによって、美術品にまで昇華された日本刀が生まれた。同じく弥生時代には、銅鐸とよばれる美しい模様を持った祭礼品(写真1)¹⁾や貴族の使う道具が鑄造で作られた。奈良の薬師寺にある薬師三尊像は、鑄造によって作られた仏像として最高傑作とも言われている(写真2)²⁾。この鑄造技術では、溶けた金属を流し込む鑄型に粒子の揃った鑄物砂が使われた。また、日本の文化を表す香辛料の一つに七味唐辛子がある。七つの香辛料の粒度を適度に揃え混合することで、様々な香が料理を引き立てる。粒度を揃えることによって混合が容易になり、不均一を防ぐことができ、更に、各粒子の持っている機能を引き出すことのできる良い例である。このように粒子はそれ自体が均一であることと、粘土や七味唐辛子のように混合した状態で均一性を保つことも重要な要素となる。こうして原始的な集落のような社会から、人間は粒子の特徴を生かし、暮らしに役立ててきた。

現代社会においても、粒子及びその集合体の持つ様々な特徴を利用して、多くの製品が作られている。染料から顔料、化学製品からセラミックスや医薬品まで多岐にわたる。水と油はそのままでは混ざり合わないが、高速攪拌機などで水または油を粒子にすると混ざり合い、その状態を維持することができる。乳化(エマルジョン)という操作である。人工的にはマヨネーズやアイスクリーム、マーガリンがあり、自然界にも牛乳などがある。

粒子という形体が、何故このように、様々な物を造るときに必要な要素となっているのであろうか。



写真1 銅鐸¹⁾



写真2 薬師三尊像²⁾

それは一言で言って、様々な物質の均一な分散や混合が可能であるからと考える(表1)³⁾。

製品そのものが粉体の形体をとるものもあるが、中間原料としての粉体の利用価値も高い。中間原料の粉体が均一(粒度、組成)であることは、最終製品において製品の安定を保ち、高い品質の製品を造り、社会ニーズを満足する上で重要である。例えば金属の世界でも材料が均一でなければ金属の特長である粘り強度や加工性を保つことが困難となり、セラミックスにおいては耐熱性、耐薬品性、強度等に大きな影響を与えることになる。

そのために人々はいかに均一な粉体を得るか、様々な物質の粉碎や篩い分けの方法を考案し今日に

表1 様々な産業で使用される粒子の例³⁾

	業 種	関連する原料、製品（中間製品含む）
資源	農 業	種子、飼料、穀物
	鉱 業	粉炭、石炭、石灰石、岩塩、セメント
加工産業	食 品	小麦粉、米粉、化学調味料、粉乳、砂糖、塩
	織 維	染料、顔料
	紙、パルプ	木材チップ、パルプ、のこくず
	ゴム、高分子	高分子ペレット、高分子粉材、顔料
	顔料、充填材	顔料、カーボンブラック、コロイダルシリカ、充填材
	化学工業	農薬、肥料、触媒、化学薬品
	窯 業	粘土、黒鉛、金属酸化物、アルミナ、研削材
	鉄 鋼	粉鉱、粉塵、鉱石ペレット
	非鉄金属	粉塵、焼結粉、金属粉
	集積産業	金属製品機械
電機機器		蛍光材料、タングステン、モリブデン粉、シリカ、アルミナ
電子材料、磁性体		酸化チタン、酸化鉄、チタン酸バリウム、フェライト
医薬品、化粧品		澱粉、乳糖、歯磨き、主薬
雑 貨		高分子ペレット、薬品

至っている。しかし、現代社会においては大量に効率良く、多くの製品を製造する必要があり、ただ均一であるだけの粉体では社会の要求を満たすことができない。そこで次に必要とされる粉体特性として、流動性と微粒化があげられる。技術革新と社会変革、第1巻第1号でも報告した⁴⁾ようにこれらの特性を得るために液体の微粒化と噴霧乾燥法が有効であり、本報ではその最近の利用の動向と未来について報告する。

2. 社会ニーズと粒子径

現代の高度に発展した文明や情報化された社会においては、多機能商品である携帯電話、家電製品等々があふれている。これらの分野では常にサイズ・リダクションが要求される。いかに多くの機能を一つに詰め込み、且つコンパクトにするかが課題となる。それらを底辺で支えているのが粒子である。基材であるセラミックス、化学材料、触媒、電池基材等の様々な物質を粒子にして、混合・分散させ、その機能を引き出している。そして社会のニーズを満足させるために粒子は細くなる。縄文時代から30年ほど前まではミリからマイクロメートルサイズの粒子で十分であった粒子径も今やナノメートルサイズの粒子を扱う社会となった。実に百万分の一ミリの大きさである。

100年以上にわたり噴霧乾燥装置の基本原理である液状原料を微粒化して乾燥することによって球状粒子を製造する手法は変わっていないが、社会のニーズにあわせ様々な改良や新技術が考案され、より効率的且つ、より微粒化ができる噴霧方式の開発が行われてきた。

3. 粉体に必要とされる特性

3.1 流動性

ある一定の形状を持った製品を大量に作るために、原料を一度微粒子状にした後に乾燥し、粉体の状態で型に流し込み圧力を加え成形し焼き固める方法がある。オールドセラミックである西洋皿やタイルなどはこの方法で作られている。現在の電子部品のベースになるセラミックス部品もサブミクロンにまで粉砕した粉体を用いて作られる。

この時、型に粒子が隅々まで流れ込むためには、粉体の流動性が重要な要素となる。また、圧力を加えて成形する際、圧力が伝播し、緻密な成型体を作ることが要求される。そのためには $0.05\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の微粒子を流動性のある粒子($30\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$)とする必要がある。

均一で流動性のよい粉体（粒子の集まり）は、**図1(a)**のように隙間なく粒子が型に流れこんで行くが、**図1(b)**のように形の異なった流動性の悪い粉体

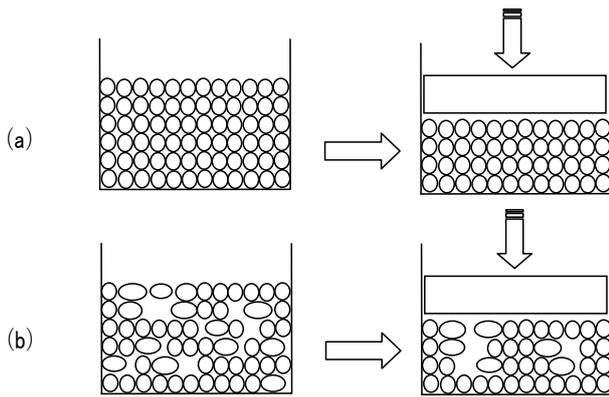


図1 型詰めされた粒子とプレス後の状態の模式図

では、うまく型に流れ込まずに隙間が生じてしまう。後段のプレス工程では不均一な状態となる。形状が丸く流動性の良い粒子は緻密なプレス製品となり、粒子形状が不揃いなものは欠陥製品となる。

3.2 微粒化

流動性は緻密な製品を製造するうえで重要な要素のひとつである。更に緻密な製品を作るためには粒子をより微細化し、充填密度を上げる必要がある。次に挙げる噴霧乾燥法は液体を空気中で微粒化することで個々の粒子は表面張力により微細な球状となり、その形状のまま乾燥することで微細な粒子化ができる。粒子は適度な強さと適切な内部構造（組成）を持っていることが必要となる。また、微細な球状の粒子は表面積が非常に大きくなり、反応性を向上することができる。このように微粒化を行うことで、それまでなかった特性が引き出され高密度、高品質化が可能となる。

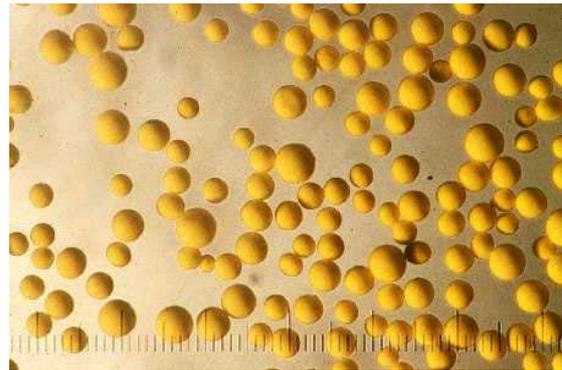
これまでこのような微粒化を行う方法として主に2流体ノズルが使用されてきたが $20\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ 程度までしか微粒化することができなかった。現在では、より微細化することを目的としたノズルの開発により $10\mu\text{m}$ 以下の粒子の製造も可能となっている。

4. 球状粒子とその造粒技術

粒子の形体を持つ原料即ち粉体が、社会ニーズを実現させるためあらゆる産業にかかわっていることは先に述べた。そしてそのなかで粒子にどのような



全体写真



顕微鏡写真

写真3 セラミックスの粒子

特性が必要とされるかも先に述べた。まず、古代から要求されてきた特性は均質性であった。近代に入り大量生産で必要とされるようになると、粉体の取り扱いの簡便性から、流動性の良い粒子が要求された。さらに電子部品に代表されるような緻密な製品を作るため、細かい粒子が要求されてきた。さらには小型、大容量を求める電池用の材料へと粉体の利用範囲は広がってきた。

これらの粒子を製造するために原料の調整が必要となる。調整には様々な原料を一様に混合する必要があり、この一様な混合に、水溶液や懸濁液の状態が有効となる。

水は多くの物質の溶媒となり、また水に細かい固体が分散した懸濁液を形成することができる。水溶液滴や懸濁液滴を空中で分散させると、液体の特性である表面張力により表面積を小さく保とうと球状となる。この液状の球状粒子を空中で乾燥することができれば、均質で流動性の良い粒子の集合体即ち粉体を得ることできる(写真3)⁵⁾。

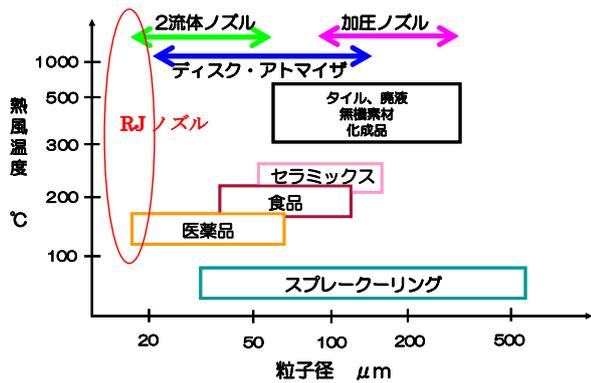


図2 粒子径と製品の関係



写真4 NL-3型 ノズル式小型噴霧乾燥機⁵⁾

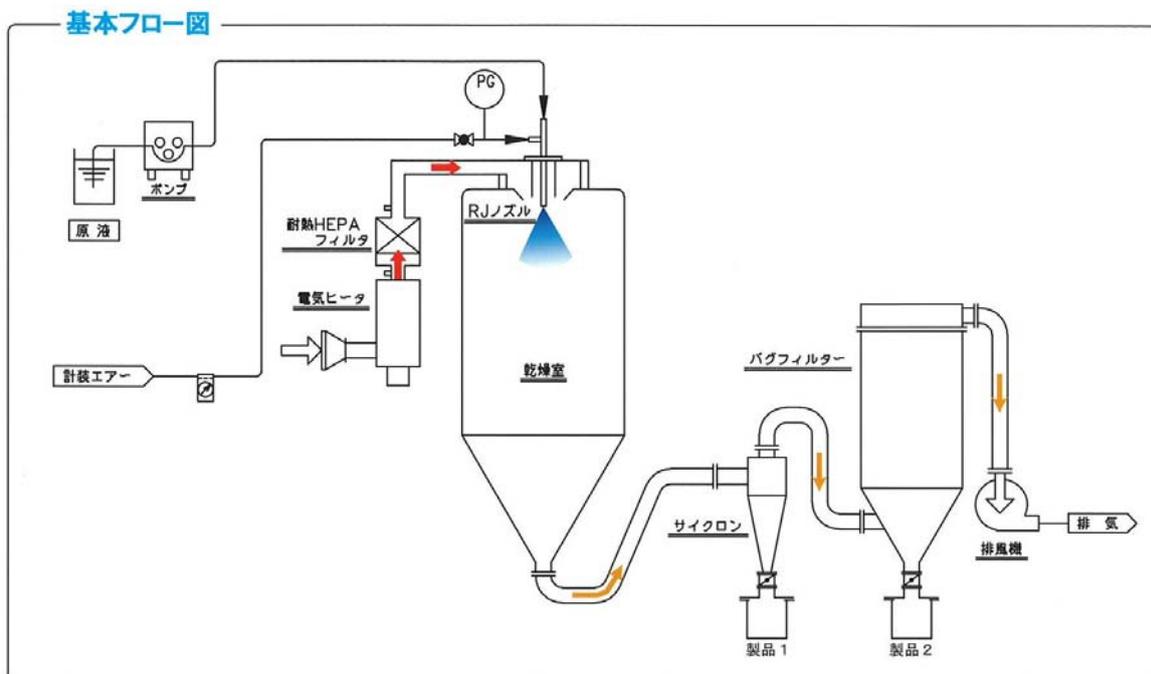


図3 噴霧乾燥装置の概略フロー⁵⁾

この原理を利用して、球状粒子を得る方法を噴霧乾燥法（スプレードライ）という。噴霧乾燥法は約100年前にその原理がまとめられ、当初は主に乳製品の粉体製造技術として利用されてきた。そして均質で流動性の良い粉体の製造法として、様々な産業に広まっていった。

噴霧乾燥法は乾燥媒体となる空気を外気より取り入れ、電気ヒータで加熱し熱風として乾燥室内に吹き込む。この熱風の吹き込まれた乾燥室内に液体原

料を直接噴霧すると液滴は熱風と接触し、瞬時に乾燥して球状の粒子を得ることができる。乾燥した粒子は熱風に同伴されサイクロンやバグフィルタなどで粉体製品として回収される。

微粒化特性に優れたRJノズル（図2）を搭載した噴霧乾燥装置（スプレードライヤ）の概略のフロー（図3⁵⁾）と装置の概観（写真4⁵⁾）を示す。このような装置を使用することで今までにない特性を持った粉体を得ることが可能となる。

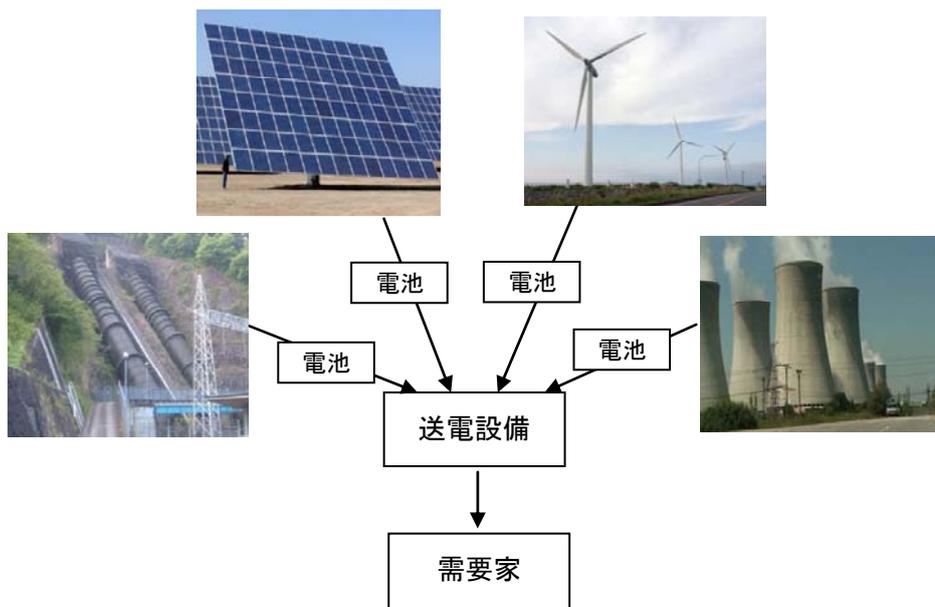


図4 自然エネルギーを利用した電力供給方法⁶⁾

5. スプレードライ技術の未来

現在、セラミクスブームは去ったが、環境問題から発したエネルギー問題が注目を集めている。自然エネルギー(太陽光発電、風力発電)による分散発電(図4⁴⁾)や電気を一時的に蓄え放することでエネルギーの効率化を図る構想が進んでいる。不安定な自然エネルギーで発電した電気または余剰に作られた電気を二次電池に蓄え、必要が生じた時に適切に効率よく供給する必要がある(図4⁴⁾)。それらの充放電の特性に優れた電池材料や電力変換ユニット部品材料の製造法としても粒子づくりの技術(スプレードライ技術)の適用が検討されている。

高効率の二次電池用の材料はナノサイズの粒子に合成され、スプレードライ技術によりその原料液を微粒化し、且つ連続して乾燥することで粉体製品化できる。微細な造粒粒子とすることで表面積が非常に大きくなりバインダーで成形した後も、反応性が良く、充放電特性に優れた電池材料の製造が可能となる。

粒子製造の技術はその時代の社会ニーズにより変化し、多様化してきた。今後も液状物を微粒化し、乾燥し粉体を得るだけでなく、粉体を構成する粒子

製造装置、すなわち造粒装置としてのスプレードライ法がさらに進化し発展していくと考える。

引用文献・資料

- 1) ウィキペディア フリー百科事典
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%8A%85%E9%90%B8>
- 2) 奈良薬師寺公式サイト www.nara-yakushiji.com
- 3) 神保元二; 「粉体の科学」(BLUE BACKS), p.13, 講談社(1985)
- 4) 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, 1(1), pp.1-6(2008)
- 5) 大川原化工機株式会社; 会社案内及びカタログ
- 6) 画像出典(左から時計まわりに)
水力発電
http://island.geocities.jp/mayob_e_parade/ep37.html
太陽光発電
<http://www.geocities.jp/muzvit2003/solarpanel.html>
風力発電
http://eco.nikkeibp.co.jp/style/eco/special/071218_tomamae01/index3.html
原子力発電所
<http://www.eu-alps.com/s-site/do-2006/614/614dukovany-nuclear-power.htm>

参考文献

- 1) 大川原正明; 噴霧乾燥と微粒化, 日本エネルギー学会液体微粒化部会(1992)