

超高精度気流式分級機“エアロファインクラシファイア” と各種ナノ粉体製造への活用

小澤 和三*)

1. はじめに

電子部品の高機能化と小型化に伴い、材料粉体である粒子の微小化が進み、さらには部品の安定性、信頼性、強度向上を目的とした均一な大きさの微小粒子を得るための分級ニーズが高まっている。従来は「1 μm 以上」は乾式分級、「1 μm 未満」は湿式分級と明確に棲み分けされていたが、近年ではサブミクロン領域さらにはナノ領域であっても乾式分級への要求・期待が大きくなっている。その理由として、湿式粉碎・湿式分級を用いて微細かつ均一な大きさの粉体をいくら得られたとしても、乾燥工程によって大きな凝集粒子が発生し、この凝集粒子が最終製品の品質に大きな影響を及ぼしていることがある。したがって、最終の粒度調整として、乾式分級処理による粒子径制御が望まれているのである。

本報告では、サブミクロン粉体さらにはナノ粉体の分級用として、特に電子材料分野を中心に利用されている超高精度気流式分級機「エアロファインクラシファイア(AC)」の特徴と分級例を中心に紹介する。

2. エアロファインクラシファイアの概要

表1に示すように乾式分級は、大きく4つに分類される¹⁾。数 μm から数 μm の分級では、ローターを高速で回転させて粒子に遠心力を与える遠心分級機が広く用いられており、当社でもロータータイプの分級機ターボクラシファイア(図1)を製造、販売している。このような分級機でサブミクロン領域に対応するためには、ローターを高速で回転させる必要であるが、軸受部品の著しい寿命の低下、振動、発熱のリスク増大のため難しい。そこでサブミクロ

表1 乾式分級装置の分類

分類	分級原理	一般的な特徴	代表的な機種
重力分級	粒子の落下速度、落下位置の違いにより分級(重力: 空気抗力)	・構造が簡単・粒径の粗いところでの分級(200~2000 μm)・あまり高粉体濃度が期待できない・精密分級に適さない	水平流型 垂直流型 ジグザグ型
慣性分級	粒子の慣性力を利用して分級(慣性力: 空気抗力)	・構造が簡単・比較的粒径の粗いところでの分級(10~250 μm)・高粉体濃度が可能、比較的大容量が可能・精密分級に不適	直線型 曲線型 ルーバー型
		・細かい分級範囲(0.5~50 μm)・精密分級も可能	エルボージェット バリアブルインパクター
遠心分級(自由渦, 半自由渦)	自由渦, 半自由渦による遠心力と空気抗力のつりあいで分級(遠心力: 空気抗力)	・構造が比較的簡単・比較的細かいところでの分級(1~20 μm)・サイクロンなどではあまり高粉体濃度、精密分級は望めず	サイクロン ファントムゲレン クラシクロン ディスパージョンセパレータ マイクロプレックス
遠心分級(強制渦)	強制渦による遠心力と空気抗力のつりあいで分級(遠心力: 空気抗力)	・比較的構造が複雑で動力もかかる・微粉領域まで分級可能、分級範囲広い(0.5~100 μm)・高粉体濃度、精密分級が可能	各種エアセパレータ ミクロンセパレータ マイクロプレックス アキュカット ターボクラシファイアー

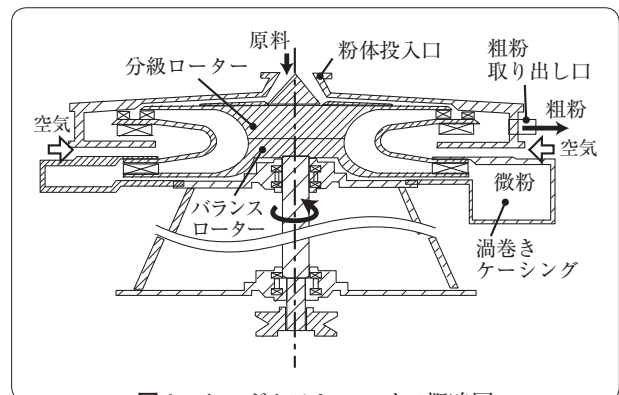


図1 ターボクラシファイア概略図

*) KOZAWA Kazumi: 日清エンジニアリング(株)
粉体事業部機器販売センター センター長
〒356-0043 埼玉県ふじみ野市鶴ヶ岡 5-3-77
TEL: 049-264-3148 FAX: 049-264-9367
E-mail: kozawa.kazumi@nisshin.com

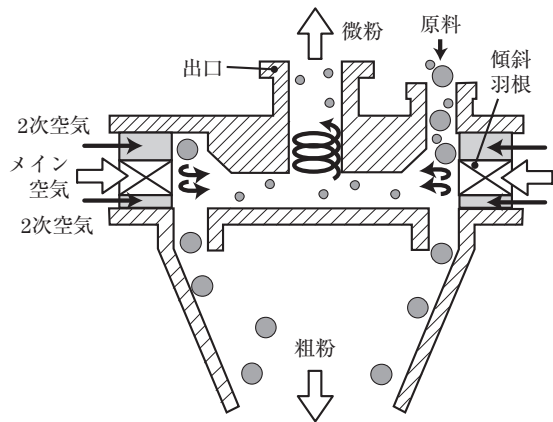


図2 エアロファインクラシファイア概略図

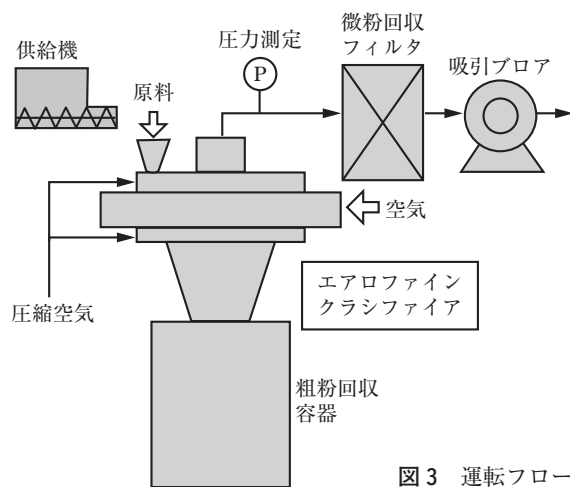


図3 運転フロー

ン領域に対応できる分級機として、サイクロンのようなローターレスの旋回気流式の遠心分級機に着目した。旋回流であれば風速200~300m/sまでは比較的容易に高速にすることができ、粒子には非常に大きな遠心力を与えることができる。このような発想で開発した分級機がエアロファインクラシファイアである。

エアロファインクラシファイアの特長は「微粉かつ高精度な分級」「分級点の容易な調節」「コンタミレスの実現」の3つである。図2に装置の概略図、図3に運転フローを示す。本装置はプロアの吸引によって大気中から空気を取り込み、装置外周部に傾斜させた複数の羽根の間に空気を通すことで、装置内部に旋回流を発生させている。また羽根の上下に圧縮空気を噴射して遠心分級に必要な旋回流を加速し、従来よりも微小な粒子を分級できるようにした。分級原料を装置上部から定量供給し、分級した粗粉を装置下部の容器で回収し、微粉を装置中央部にある排気管から空気とともに排出する。装置の後段には微粉を回収するためのフィルタを設けている。微粉領域での高精度分級を達成するために「粒子の分

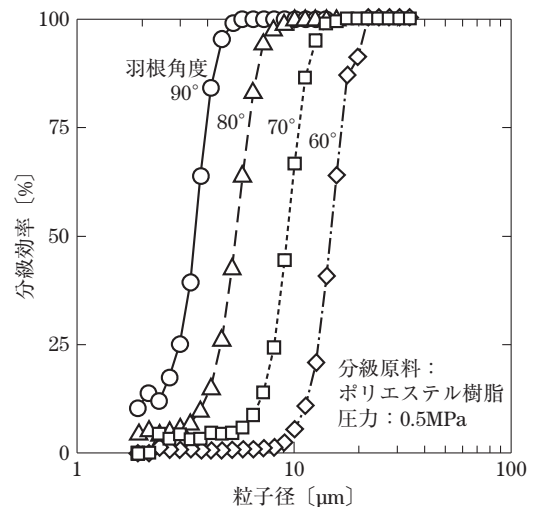


図4 羽根角度による分級径の調節

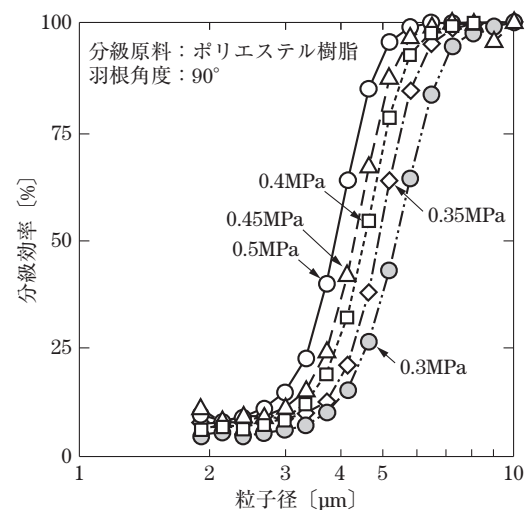


図5 圧縮空気圧力による分級径の調節

散」「再分級」「整流」に心懸け、装置形状や装置構造を決定している。

本装置では、分級径の調節方法が2通りある。1つは、渦を発生させるために設けた複数の羽根の角度を変化させること、もう1つは羽根の上部から噴射している圧縮空気の圧力を変化させることである。分級径を大きく変化させる場合は羽根の角度を変更し、分級径を小さく変化させる場合は圧縮空気の圧力を変更する。中位径5μmのポリエステル樹脂を用いて、羽根角度を変化させた場合の部分分級効率を図4、圧縮空気圧力を変化させた場合の部分分級効率を図5に示す。羽根角度は60°~90°(接線方向を90°としている)とし、羽根角度によって高い分級精度を保ちながら分級径を大きく変更することができる。また圧縮空気圧力を変化させると分級径を細かく調整できることがわかる。またプロアの吸引風量を一定とし、分級径を変化させた場合

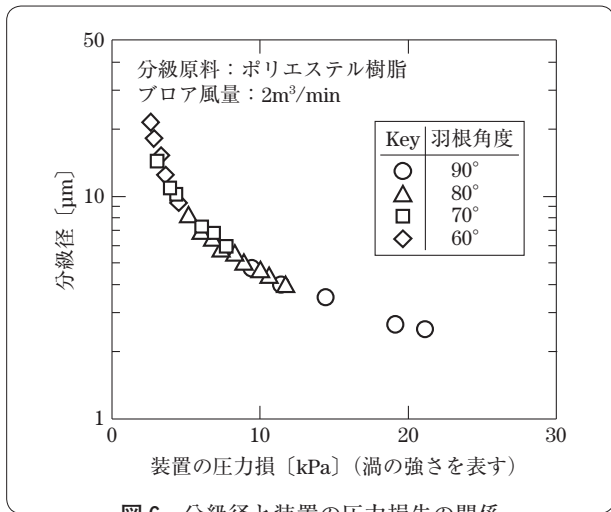


図6 分級径と装置の圧力損失の関係

の分級径と装置の圧力損失の関係を図6に示す。風量一定であれば、羽根の角度を変化させた場合でも圧縮空気圧力を変化させた場合でも分級径と圧力損失には相関があり、装置出口の圧損を見ておけば内部の渦の様子や分級径を常に把握することができる。

3. サブミクロン～ナノ粉体の分級例

分級機は目的の粒子径で大粒子、小粒子の2つに分ける装置であるため、微粉除去、粗粉除去または

微粗粉除去による中間サイズの領域を取り出すことに利用できる。しかしながら、エアロファインクラシファイアを使用するお客様の目的はほとんど粗粉除去である。サブミクロン粉体やナノ粉体を電子部品材料などに利用する場合、粒子を分散させた後に塗布などにより薄層・積層化する操作が重要であり、歩留まりや性能低下を招く原料中の大粒子の除去が必須となっているからである。

図7に金属シリコンナノ粒子の分級前後のSEM写真を示す。金属シリコンは、リチウムイオン2次電池のさらなる高容量化を実現できる負極材料として注目されているが、Li⁺の挿入・脱離による体積変化が大きく、金属シリコン粒子の分解・破壊が進むことによって、十分な電池寿命が得られないことが課題となっている。この解決手段として、金属シリコンを150nm以下までに微小化することが報告されている。エアロファインクラシファイアで分級することで、原料中に含まれている150nm以上の粒子を除去できていることから、金属シリコンを用いた負極材の耐久性向上が期待できる。図8に導電性ペースト材料やパワー半導体向け材料に利用される銀ナノ粒子の分級前後のSEM写真を示す。原料中に混在する数百nmの粒子を取り除くことができ

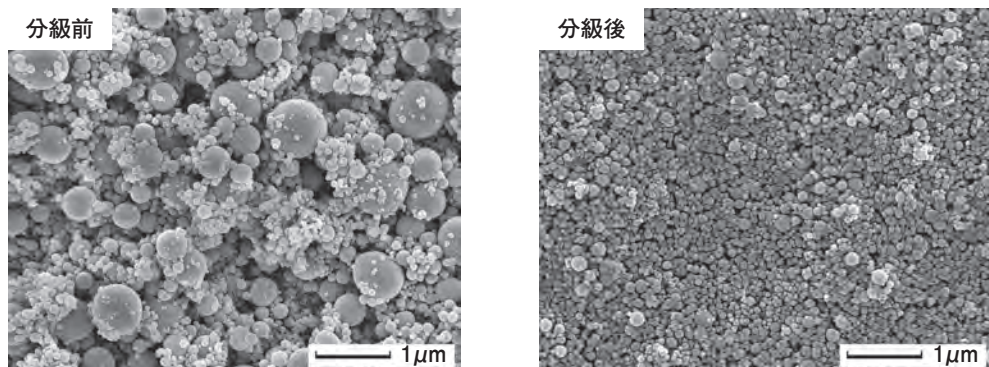


図7 金属シリコンナノ粒子の分級例

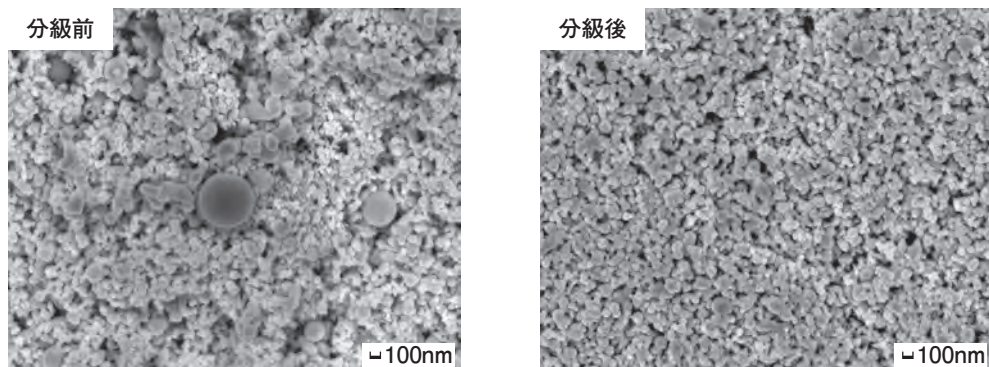


図8 銀ナノ粒子の分級

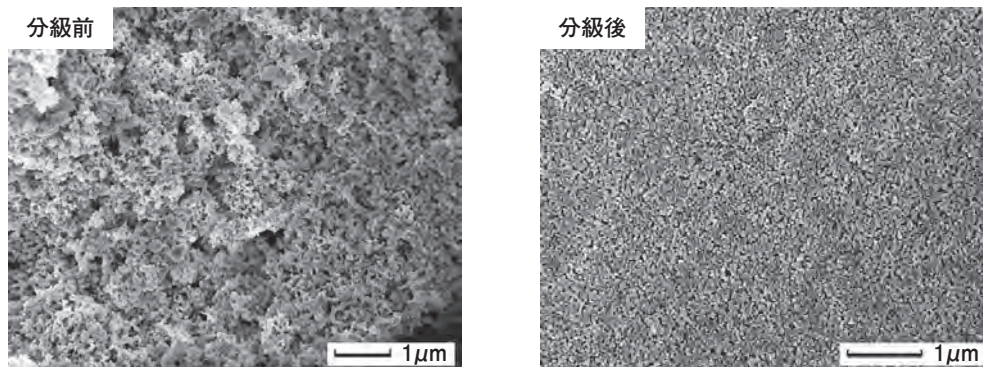


図9 ニッケルナノ粒子の分級例

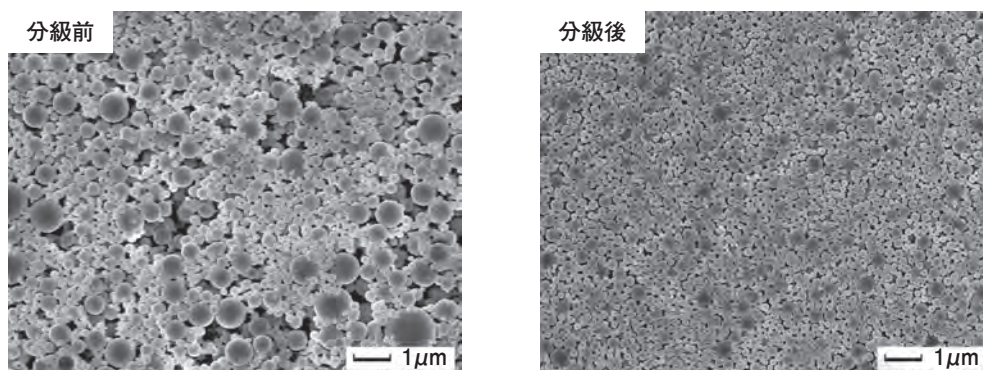


図10 シリカナノ粒子の分級例

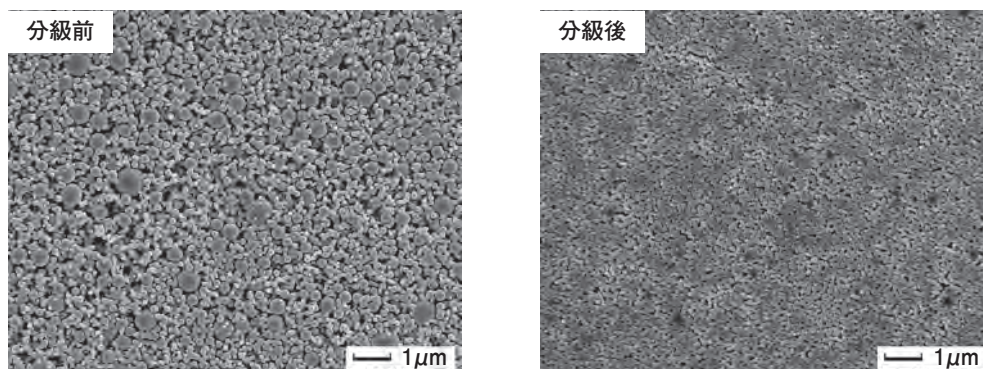


図11 アルミナナノ粒子の分級例

いる。ニッケルナノ粒子の分級前後のSEM写真を図9に示す。近年、電子機器を小型・高性能化するために、高積層化と薄膜化による積層セラミックコンデンサの開発が進められており、電極材料となるニッケルナノ粒子には電極間でショートの原因になる大粒子が含まれていないことが重要である。エアロファインクラシファイアを用いた分級微粉中には、数百nm以上の粒子が見られない。その他、半導体の封止剤などに利用されるシリカやアルミナの分級例を図10と図11にそれぞれ示す。

4. おわりに

これまで難しいとされてきた乾式による1μm以

下の高精度分級であるが、エアロファインクラシファイアではナノ粉体の分級が可能であり、特にナノ粉体原料の粗粉除去用として利用されている。電子材料の高機能化、小型化、高信頼性のニーズはますます高まっており、ナノ粉末の高精度分級は重要な操作になってきていると考える。乾式分級のより一層の利用拡大に向けて、企業様、研究機関と協力させていただきながら、新技術開発や技術の深掘りに取り組んでいきたい。

〈参考文献〉

- 1) (社)日本粉体工業技術協会編：“粉体分級技術マニュアル”，広信社，p.62，p.150-160（1990）