

粉碎機「スーパージェットミル」および 分級機「ターボクラシファイア」、「エアロファインクラシファイア」

日清エンジニアリング(株) Kozawa Kazumi
小澤 和三

粉体事業部 機器販売センター
〒356-0045 埼玉県ふじみ野市鶴ヶ岡5-3-77
☎049-264-3148

はじめに

ノートパソコン、スマートフォン、ゲーム機、電気自動車、ハイブリッド車、重機、蓄電システムなど、現代の暮らしにおいて電池は必要不可欠である。そしてIoT化、モバイル化、低炭素社会に向けた取り組みが進む中、電池を利用する機会はずっと広がり、電池に求められる性能への要求も高まっている。

現在、蓄電池の主流になっているリチウムイオン二次電池(LIB)においては、さらなる高エネルギー密度化、安全性、耐久性、耐熱性を求めた正負活物質の材料選定や粒子設計の検討が進められている。また次世代蓄電池として期待されている全固体電池は、硫化物系や酸化物系の固体電解質を用いるが、正極、固体電解質、負極材料の粉末を薄いシート状に積層するため、粒子表面状態や粒子径制御が重要になってくると思われる。そして電池の発火、ショートの原因となる微量の金属異物への対応も必要不可欠である。

本稿では、電池材料の粒子径制御に必要な不可欠な粉碎機および分級機に関する最新技術について紹介する。

微粉化するにあたって

粉碎機や分級機を用いた電池材料の微粉化・粒子径制御の際に留意すべき主な点は、「安定した

中位径(平均径)」「粒子径分布の制御」「金属コンタミネーションレス(禁止部材対応)」である。

中位径は粉体特性に最も大きく影響する因子の一つであるため、常に所望の中位径の粉碎品を安定して製造することが重要である。しかし運転中に中位径が変動して品質が安定しないことがある。最も大きな要因は、粉碎機または分級機内の粉体の付着・堆積であり、そしてこの付着特性は運転条件の調整では改善することは難しい。したがって、機器選定の際には、粉体の付着、堆積の少ない機器を選ぶことが重要である。

また中位径が同等でも、ブロードな粒子径分布を持った材料と、大きさの揃ったシャープな粒子径分布を持った材料では、粉体の流動性や成形性などに大きな違いが生じるため、粒子径分布の制御も重要である。粒子径制御には分級機が用いられるが、分級機の性能や特性はメーカーや機種によって大きく異なるため、要求仕様に対して最適な装置を選定しなければいけない。さらには粉体製造工程において製品粉体に金属異物が混入しないように、ハード面、ソフト面からの対策が必要である。

粉碎機「スーパージェットミル」

ジェットミルは圧縮空気のもつ流体エネルギーを利用した粉碎機であり、乾式粉碎機の中において最も微粉碎できる装置の一つである。当社の「ス

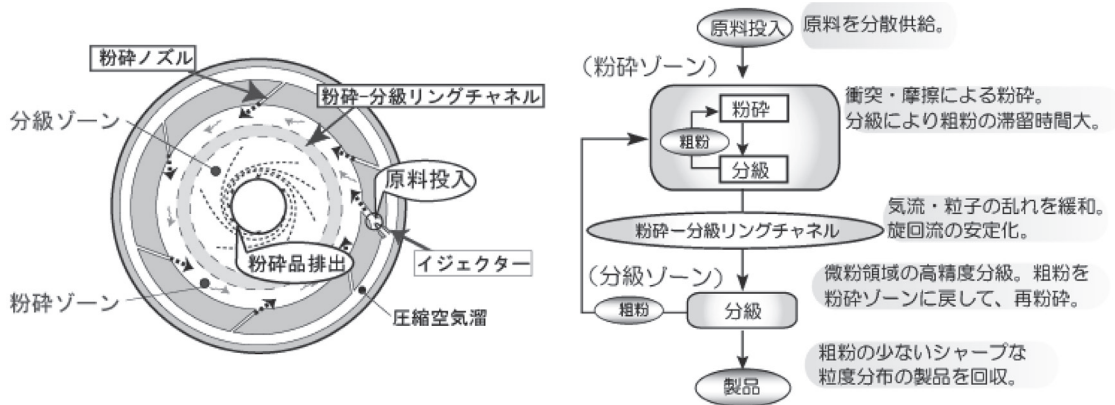


図1 「スーパージェットミル」の構造とメカニズム

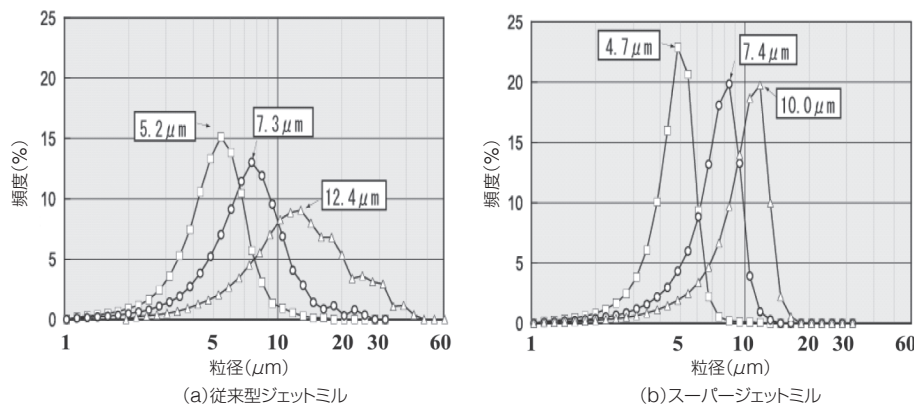


図2 トナー粉砕品の粒子径分布比較

「スーパージェットミル」は高精度な分級機能を有し、「シンプルな構造」「分級精度にこだわる」「装置内の粉体付着・堆積の少ない構造」の特徴を持った粉砕機である。

図1に「スーパージェットミル」の構造とメカニズムを示すが、本装置は粉砕-分級チャンネルを設けることで粉砕ゾーンと分級ゾーンを明確に区別した構造としている。

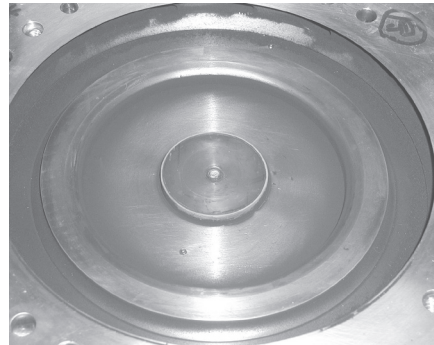
粉砕ゾーンに供給された原料は、粉砕ノズルから噴射された高圧の空気による衝撃力、せん断力によって粉砕される。粉砕が不十分な大粒子は粉砕ゾーンに留まるが、ある程度小さくなった粒子は空気流とともに旋回しながら粉砕-分級チャンネルを飛び越えて粉砕ゾーン内側の分級ゾーンに供給される。分級ゾーンでは、旋回流による遠心力と空気抗力が粒子に働く。小粒子は空気とともに

装置中央の出口に向かう一方、大粒子は遠心力によって外側の粉砕ゾーンに戻される。粒子は粉砕ゾーンと分級ゾーンを循環し粉砕と分級を繰り返しながら、小さくなった粒子のみが粉砕品として装置中央にある出口管から排出される。粉砕-分級リングチャンネルの設置によって発現した「分級ゾーンの整流化」「再分級」「付着低減」機能が高い分級精度を実現し、大粒子のない均一な大きさの粒度分布を持った粉砕品を作製できる。

図2は、粉砕-分級リングチャンネルを設けていない従来型ジェットミルと「スーパージェットミル」によって粉砕したトナーの粒子径分布の比較を示す。「スーパージェットミル」で処理した方が粒子径分布はシャープになっており、特に粗粉の割合が非常に少ないことがわかる。なお粉砕粒子径は分級ゾーンの旋回流の強弱で変化するた



(a)従来型ジェットミル
(多くの粉体堆積が見られる)



(b)スーパージェットミル
(ほとんど堆積していない)

図3 ジェットミル内の黒トナー堆積の様子

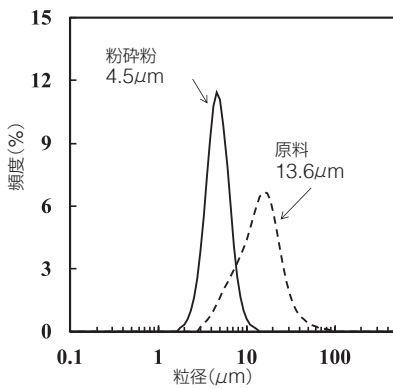


図4 黒鉛の粉碎

め、圧縮空気の圧力または原料の投入速度を制御することで所望の粒子径に調節することができる。また図3に示すように、「スーパージェットミル」では機内の粉の付着、堆積がないことがわかる。

図4に電池材料である黒鉛を「スーパージェットミル」で粉碎したときの粒子径分布を示す。中位径 $13.6\mu\text{m}$ の原料が中位径 $4.5\mu\text{m}$ まで小さくなっているが、特に最大粒子径が $88\mu\text{m}$ から $12\mu\text{m}$ と大幅に小さくなり、粉碎機だけの処理でかなり均一な大きさの粒子を作製できていることがわかる。

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)	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が簡単 ・粒径の粗いところでの分級(200～2,000mm) ・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)	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が簡単 ・比較的粒径の粗いところでの分級(10～250mm) ・高粉体濃度が可能、比較的大容量が可能 ・精密分級に適さない 	直線型 曲線型 ルーバー型
		<ul style="list-style-type: none"> ・細かい分級範囲(0.5～50mm) ・精密分級も可能 	エルボージェット バリアブルインパクト
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の分級 (遠心力：空気抗力)	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が比較的簡単 ・比較的細かいところでの分級(1～20mm) ・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 ファンティングレン クラシクロン ディスパージョンセパレーター ミクロブレックス
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の分級 (遠心力：空気抗力)	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的構造が複雑で動力もかかる ・微粉領域までの分級可能、分級範囲広い(0.5～100mm) ・高粉体濃度、精密分級が可能 	各種エアセパレーター ミクロンセパレーター ミクロブレックス アクキュカット ターボクラシファイアー

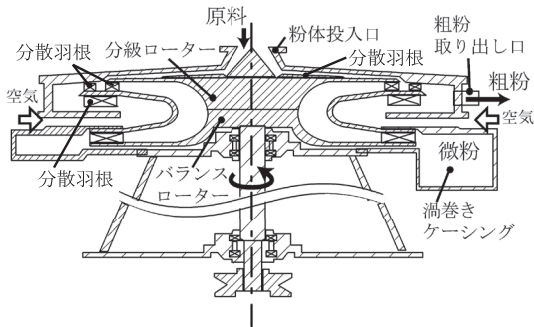


図5 「ターボクラシファイア」の概略図

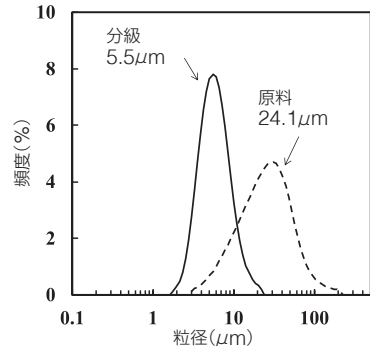


図6 天然黒鉛の分級

分級機「ターボクラシファイア」と「エアロファインクラシファイア」

乾式分級機の種類を表1に示す¹⁾。主に4つに分類されるが、当社では遠心力を利用した強制渦式分級機と半自由渦式分級機を製作、販売している。

図5に強制渦式分級機「ターボクラシファイア」の構造を示す。分級機内に投入された粉体は、高速回転する分級ローターによる遠心力とブローによる空気抗力を受け、粗粉と微粉に分級される。分級径は、ローター回転数を変えることによって数 μm から100 μm 程度まで容易に調整できる。また、分散羽根による「原料の分散」、補助羽根や分級羽根による「整流」、分級が不十分な粒子を再度ローターに戻して分級する機会を与える「再分級」の機能を有することで他社にはない高精度分級を可能としている。

図6に天然黒鉛を「ターボクラシファイア」で分級した結果を示す。様々な大きさの粒子を有する原料から分級によって微小な粒子のみを取り出した結果を示している。もちろん、ローター回転数を調整することで任意の大きさの粒子を取り出すことが可能である。

また本装置は、粉体の粒子径制御に用いるだけでなく、原料中にごく微量に含まれる金属異物を取り除く装置としても期待されている。活物質と金属異物が同じような粒子径であっても、密度の大きな金属異物を分級粗粉に集め、活物質だけを微粉として回収することが可能である。

図7に半自由渦式分級機「エアロファインクラ

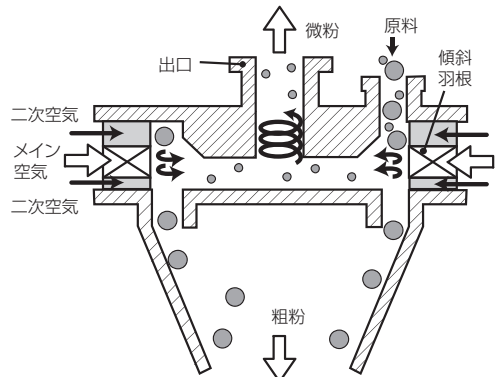


図7 「エアロファインクラシファイア」の概略図

シファイア」の概略図を示す。装置内には回転するローターはなく、機内に旋回流を発生させることで粒子に遠心力を与えて分級する。シンプルな形状でありながら旋回流を容易に高速にすることができるため、微粉化に適した装置といえる。

しかし、このタイプの分級機は、機内に成り行きでできる旋回流の制御は難しく、粒子の挙動制御も難しい。また旋回流は外乱に弱く、粉体の影響を受けやすい。特に粉体の機内付着が分級性能の大幅な悪化を引き起こす。そこで当社では、「旋回流の強化、安定、制御」「付着させない構造」に重点を置き、新しい分級機「エアロファインクラシファイア」を開発した。ブローの吸引によって大気中から(メイン)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。また羽根を挟むように上下に二次空気(圧縮空気)を噴射して遠心分級に必要な旋回流の高速化と安定化を図っ

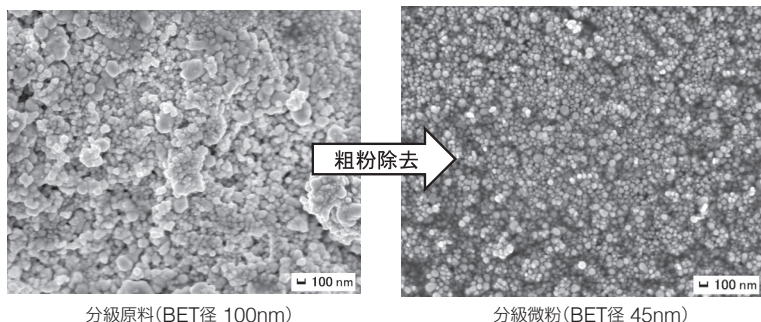


図 8 銀粉の分級

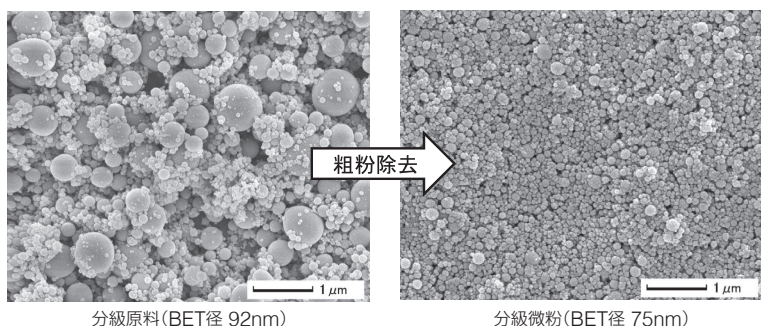


図 9 金属シリコンの分級

た。なお、上部の二次空気には「粒子の分散」を、下部の二次空気には「再分級」の機能も併せて持たせている。

旋回流の高速化、整流化技術とそこで運動する粒子の挙動制御技術の確立が、これまで乾式分級機では不可能といわれていた1μm以下の高精度分級を可能としている。

図 8 に100nmの銀粉原料および分級微粉のSEM写真を示す。SEM写真とBET径での評価であるが、密度の大きな粉体では100nm以下の領域での分級も可能である。

また図 9 に金属シリコンの原料および分級微粉のSEM写真を示す。金属シリコンは、LIB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。

本結果より、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。また、本装置はシンプルな構造がゆえに、接粉部を任意のセラミックスなど非金属にすることが容易であり、金属コンタミネーションレスの対応を取りやすいことも大きな特徴である。

● おわりに

本稿では、最先端の電池材料に利用可能な乾式粉砕機と分級機を紹介するとともに、負極材用黒鉛の粉砕、分級ならびに次世代の材料として期待されている金属シリコンの分級結果を紹介した。気流を利用した粉砕、分級による電池材料粉体の微粉化ならびに粒子径制御技術は、今後ますます求められる電池の高容量化、安定化、耐久性向上に必要な不可欠であると考えられる。今後さらなる微粉化、高精度化に向けた技術を深化させることで、次世代電池に向けた材料に少しでも貢献できれば幸いである。

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”，p.62, p.150～160, 広信社(1990)