

## グリット制御用粉砕技術—マーケット志向の製品開発— Superior Milling Technology for Grit Control Applications — A Market Oriented Product Development —

C. C. ファン  
C. C. Huang, Dr.Eng.

ホソカワミクロン インターナショナル, 技術部長  
Director, Hosokawa Micron International Inc.

### Abstract

Hosokawa Micron International Inc., a global provider of systems and equipment related to materials science and engineering, is a leader and innovator in the powder processing technology. The company has a long tradition in product development with customer needs in mind. Many milling machines developed in the past decades are still primary workhorses in industries today. This article introduces the history of the company, its product development organization and its trademark products developed in the past. As an example, a recent successful development of Mikro E-ACM<sup>®</sup> Mill for grit control applications was elucidated in details. In addition, some new product developments were also presented. Product development with market demands and customers' requirements in mind is the basis of sustainable business growth. The company's Product Development Team will continue playing a significant role to develop new products and improve the performance of existing products for customers in the USA.

### 1. はじめに

ホソカワミクロンインターナショナル（ホソカワミクロンパウダーシステムズ）は、ホソカワミクロングループの一員であり、米国のニュージャージー州サミットに拠点をもち、材料ビジネスに関連するシステムや装置をグローバルに提供している。当社は、最初1923年に「Pulverizing Machinery Company」として創設され、同社が開発した2つの製品が、今日粉砕分野におけるスタンダードになっている。ホソカワミクロングループに参入してからは、1985年に、北米と南米における粉体プロセス技術の拠点になった。それ以来、同社は、オリジナルのマイクロ（“Mikro”）の製品に加えて、ミクロン（Micron）、アルピネ（Alpine）、フリーコ・ナウタ（Vrieco-Nauta）、マジック（Majac）の製品も商品ラインナップに付け加えた。そしてより幅の広い設計・プロセス技術、なら

びに実証能力を提供できるように、その体制を拡張してきた。

粉砕技術の分野におけるリーダーであり、革新者であり続けるために、ホソカワミクロンインターナショナルは、市場の動向に合わせて、製品構成を絶えず見直し、革新するために、製品開発チームを維持している。製品開発チームは、経営、営業、技術、テストラボの人員から構成されており、新しいアイデアの成否は、メンバー間でその都度議論され、テストが実行される。

さらに重要なことは、新しく開発された装置が、販売開始した後、すぐにスケールアップが可能となるように設計されていることである。

ホソカワミクロンインターナショナルが開発した製品例として、グリット制御用のマイクロ E-ACM<sup>®</sup> 粉砕機（E-ACM）について説明したい。E-ACM の開発は、市場の需要予測に基づいて、既存の粉砕機を改

良することから始まった。メンバーの努力により、短期間のうちに商用化に結び付けることができた。

## 2. E-ACM 粉砕機の開発に至った背景

カーボンブラックの業界では、メーカー間の競争がますます激しくなっている。グローバル経済の観点から、工業材料や一般消費材の市場の不安定性、オイル価格や最新の環境規制などの変動が、製造コストの上昇の原因となり、ゴム需要が減少し、利益率が減少していることである。製造利益の低下という難問から抜け出すための唯一の方法は、付加価値の高いニッチ市場を新しく創造することである。カーボンブラックに関しては、グリットや廃残物の量が製品の品質と価値を計る重要なパラメータとなっている。よりクリーンで、ほとんどグリットの無いカーボンブラックを製造することができれば、製品に強さと耐久性と高機能性を付け加えることになり、新しい市場を創造することができる。高い価格を設定することができるため、高売上と高利益を獲得することができる。

ホソカワミクロンインターナショナルは、数十年の間、カーボンブラックのグリットを粉砕するために、マイクロパルベライザ (Mikro Pulverizer<sup>®</sup>) やマイクロ ACM (Mikro ACM<sup>®</sup>) などの粉砕機を使用してきた。スクリーン付ハンマ式粉砕機であるマイクロパルベライザは、カーボンブラックに含まれているグリットを粉砕するハンマとカーボンブラックが粉砕機内に留まる滞留時間ならびに最終製品の粒子径を制御するスクリーンを備える。生産量だけでなく、粒子径もスクリーンサイズによって決まる。

この場合、スクリーンは粒子径をコントロールするための十分は方法でないだけでなく、異物による破損やカーボンブラックの過剰供給を引き起こすというシステム上の弱点があった。

通常、マイクロパルベライザ<sup>®</sup>では、普通のグレードのカーボンブラックの原料に対して、325 メッシュオーバーが 100 ppm の製品が得られる。その製品品質は、35 メッシュオーバー、325 メッシュオーバーの残留量で測られる。マイクロ ACM 粉砕機 (ACM) は、スクリーンを取り除き、その代わりに高性能空気分級機構が配備されているので、摩耗と付着が防止される。最高品質のカーボンブラックを原料として使用すると、325 メッシュオーバーで 20~30 ppm に制御することができる。

高付加価値製品を創製するために、カーボンブラック製造用に、高レベルの粉砕技術を開発する努力を行ってきた。ホソカワミクロンインターナショナルは、2000 年代の早い時期に、グリットが無いか、あるいはほとんど無い状態に近いカーボンブラックを製造することが可能なロングギャップミル (Long Gap Mill, LGM<sup>®</sup>) を開発した。325 メッシュオーバー 0 ppm に近いレベルで、カーボンブラックからグリットを除去することができたが、維持費用が比較的高く、ニッチなアプリケーションに対応して、これを下げる必要があった。当社の製品開発チームは、LGM の設計を見直すことから始めて、E-ACM の試作機を 2000 年からの 10 年間の後半に開発した。

## 3. 粉体技術の検証

LGM は、粒子を粉砕するために、2つの機械的な粉砕機構を持っている。1つ目は、ライナに近接して粉砕ロータが通過する際に起こる、粒子と粒子の衝突による摩砕である。2つ目は、気流中の粒子が、粉砕ロータやライナに直接衝突することによって生じる粉砕である。

2つの機械的粉砕機構の割合は、おおよそ 70% から 80% が粒子と粒子の衝突による摩砕であって、20% から 30% が粉砕ロータやライナと直接衝突することによって生じる粉砕である。

気流中に分散された粒子は、分級ゾーンに至るまでに、長く連なった粉砕ゾーンを通過しなければならないため、粒子が粉砕機内に滞留する時間は増加する。さらに、カーボンブラックに適用する場合、機外に粗粒子の再循環システムを組み込み、同軸回転式分級装置を備えた LGM が成功した秘訣は、その分級ゾーンにあった。

この高性能分級装置は、高速で回転するため、大きな生産量を維持して超微粒子を分級することができる。分級ロータに弾かれた粗粒子は、粗粒子用排出口を通過して、一旦系外に排出される。一旦排出された粗粒子は、再粉砕のために粉砕ゾーンに戻されるシステムになっている。

粗粒子が系外に排出されることによって、最終製品は、今までにないレベルで、グリットの無い製品となった。

LGM は、500 メッシュオーバー 1~2 ppm のレベルで、グリッドを除去する高品質カーボンブラックの生

産には高性能を発揮するものの一般的なカーボンブラックの粉砕には性能が高すぎる。ホソカワミクロンインターナショナルの製品開発チームは、エネルギー消費コストと、カーボンブラックの品質の関係性を検討し、LGMとACMのユニークな技術的特徴を組み合わせ、高性能で、なおかつLGMの標準機とは異なる、カーボンブラック製造用の粉砕システムE-ACMを開発した。

E-ACMは、特殊ハンマとマルチデフレクタライナを装備したロータを備えており、2つの粉砕方法が組み合わせられることによって高性能を発揮する。すなわち機械的な粉砕によって約80%、粒子と粒子が衝突して生じる摩擦によって20%の粉砕が行われる。その結果、ロータに掛かる動力負荷と運転コストが顕著に減少した。

また、E-ACMは、ACMの標準機に付属しているガイドリングがなく、縦長の粉砕チャンバにスピード可変型のダイナミック空気分級機構と一旦外部排出された粗粒子を粉砕部に再循環させるシステムが備わっている。

この機構を採用したことにより、原料がガイドリングに付着することを防止し、旋回流による分級効果を高め、高いグリット除去率を達成した。E-ACMとそのフローパターンは、下記の図1に見るとおりである。LGMの操作と同じく、カーボンブラックの反応装置のバグフィルタから導かれたエア中に分散された原料は、粉砕ロータの下部に投入されて、板状のハンマとライナの間にできる環状の隙間（粉砕ゾーン）を通過する。粉砕された粒子は、粉砕ゾーンから、E-ACMのチャンバを経由して、単独駆動する分級機構に至る。空気分級機構は、周速を制御することで、必要な粒度をコントロールすることができる。粗い粒子は、分級機によってはじかれて、エジェクタを付加した外部排出口を経由して、粉砕機から外部に排出される。その後、粗い粒子は、粉砕機の最初の投入口／粉砕ゾーンへと戻ることになる。

E-ACMの設計は、特に、運転コストに優れたACM粉砕機の利点と、グリットの粉砕に優れたLGM粉砕機の利点を組み合わせたものである。カーボンブラックのように比重の軽い物質に含まれるグリットを粉砕するためには、それがハンマスクリーン式粉砕であっても、高性能空気分級機能付きの機械式衝撃粉砕機であっても、既存の粉砕技術を大きく発展させたものでなければならない。また、E-ACMは、

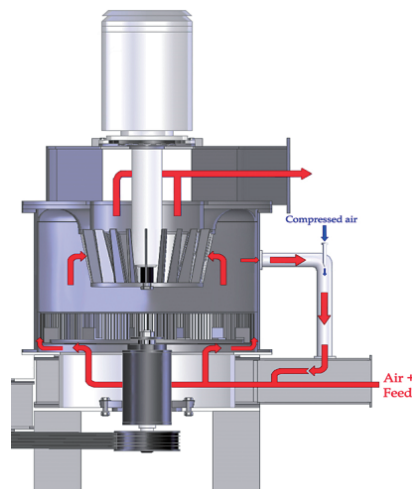


図1 マイクロE-ACM®のフローパターン  
Fig. 1 Mikro E-ACM® flow pattern

表1 ラボテストのデータ  
Table 1 Lab test data

Carbon Black	Mikro E-ACM®	
	+ 325 MESH (PPM)	+ 500 MESH (PPM)
<b>Grade 1</b>		
Feed	250	400
End Product	≤ 1	≤ 10
<b>Grade 2</b>		
Feed	50	100
End Product	≤ 1	≤ 6
<b>Grade 3</b>		
Feed	500	700
End Product	≤ 20	≤ 50
<b>Grade 4</b>		
Feed	25	250
End Product	≤ 5	≤ 35

表2 生産プラントのデータ  
Table 2 Production plant data

Grade	E-ACM Model	Capacity (t/h)	Feed + 325 MESH (PPM)	Product + 325 MESH (PPM)
N550	150	3.8	50	≤ 2
		4.2	50	≤ 2
N326	250	5.8	700	< 100
N330	250	5.6	700	< 40
N550	250	10.2	1,000	< 170
N660	250	8.5	1,000	< 175
N774	250	4.3	700	< 110

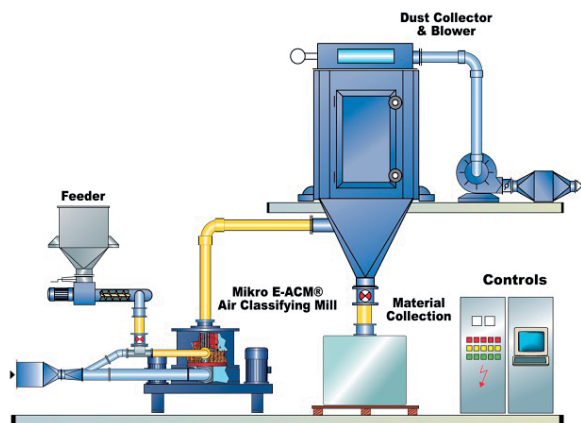


図2 オフライン E-ACM の配置  
Fig. 2 Off-line E-ACM installation

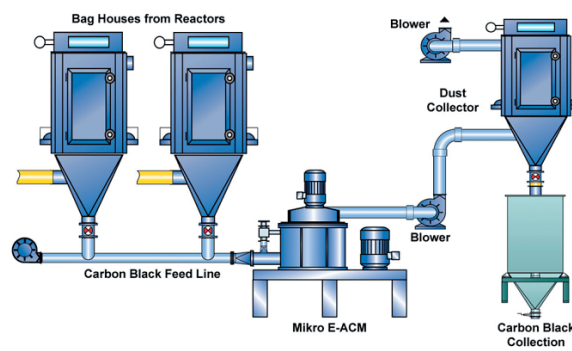


図3 オンライン E-ACM の配置  
Fig. 3 In-line E-ACM installation

表3 マイクロ E-ACM<sup>®</sup> のエネルギー消費量 (例)  
Table 3 Mikro E-ACM<sup>®</sup> energy consumption references

Model	Motors (kW)	Capacity (t/h)	Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Mill Δ P (mmH <sub>2</sub> O)	Blower (kW)	Unit Energy (kW-h/t)
150E-ACM	127	4.5	12,750	1,300	110	53
250E-ACM	225	6.5	21,250	1,500	225	69

100℃から260℃間の高温ガスに対しても使用可能なように設計されており、工場内では、カーボンブラックの反応装置のバグフィルタの後に、オンラインで設置可能である。

オンライン E-ACM 粉砕機は、配置面積が極めて小さく、装置をコンポーネントにより追加することができるので、建屋工事と設置工事を最小にすることができる。

#### 4. グリット制御用マイクロ E-ACM<sup>®</sup> の標準的な転例

表1と表2は、ラボテストと実際の生産運転から得られたデータである。表にみられるように、E-ACMの処理能力は、グリットが原料に含まれる量と種類によって異なる。確認運転は、粉砕装置の運転条件と生産量、製品品質を決めるために、パイロットスケールで行われなければならない。

ただし、カーボンブラックを E-ACM で粉砕すると、グリット量を 50 ppm, 100 ppm, 400 ppm, 700 ppm の原料からそれぞれ 5 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 100 ppm 程度の製品の粉砕することができる。

#### 5. マイクロ E-ACM<sup>®</sup> のプロセス

カーボンブラックの生産工場では、E-ACMは、図2のように、専用の原料供給と給気装置を敷設したオフライン、あるいは図3のように、反応装置のバグフィルタの後ろにインラインで配置する2つの方法を選択することができる。

ライン中に配置する場合は、E-ACMは、処理される様々なグレードのカーボンブラックの処理量に合わせて、型式を決めることができる。E-ACMの型式は、テストで決定する。ある種のカーボンブラックは、反応装置のバグフィルタから、一定比率でカーボンブラックを含んだエアに乗って運ばれる。

E-ACMは、プロセスの規格に合わせて、求められる製品仕様のカーボンブラックを製造するように、設備することができる。カーボンブラックのグレードと求められる最終製品の品質によって、E-ACMは、200 kg/h から約 10 ton/h までの処理量に対応することができる。

表3に、E-ACMの生産ラインのエネルギー消費量を示すが、これにより他のカーボンブラックのグリット除去システムと比較して優れていることが明らかである。



図4 マイクロ UMP<sup>®</sup> UMP-1  
Fig. 4 Mikro UMP<sup>®</sup> UMP-1



図5 マイクロ LPM-2<sup>®</sup>  
Fig. 5 Mikro LPM-2<sup>®</sup>



図6 マイクロ エアジェットシーブ<sup>®</sup>  
Fig. 6 Mikro Air Jet Sieve<sup>®</sup>

## 6. まとめ

Mikro E-ACM<sup>®</sup> 粉砕機は、高速型ハンマスクリーン式粉砕機、カーボンブラックのグリット除去用の空気分級装置と比較して、大きく進歩している。同装置は、処理能力が大きく、適用範囲が広く、既存の装置に対して、インラインで配置することができる。このことにより、顧客ニーズを満たすことができるだけでなく、高い利益率を生み出すことが可能である。

最初に顧客から評価を得たのは、生産能力が大きく上昇したことが証明されたためである。E-ACMは、カーボンブラックの市場で2013年以降、既に500万USドルを超える売上を上げている。この数年の内に、E-ACMの売上がさらに伸びることが期待されている。

ホソカワミクロンインターナショナルの製品開発チームは、E-ACMの開発と同じように、その他の製品開発プロジェクトも精力的に遂行している。E-ACMの生産性をさらに向上させることに加えて、US仕様のパルベライザ、エアジェットシーブ、ジェットミルの更新を行っている。

数年前には、マイクロ パルベライザ<sup>®</sup>をベースに、高性能ハンマ、超剛性ナイフハンマ、ピンディスクなどを装備したマイクロ UMP<sup>®</sup> ユニバーサルパルベライザ (図4) と、さらにサイズが2インチと小さい小型ラボモデル マイクロ LPM-2 (図5) を開発した。マイクロ LPM-2は、医薬ラボ用に最も人気の高い卓上型ピンミルである。

また、新型のマイクロ エアジェットシーブ<sup>®</sup>を今年販売開始した。図6に見られる外観に加えて、タッチ式スクリーン制御盤を備えた解析用コンピュータと



図7 マイクロ ジェットミル  
Fig. 7 Mikro-Jet Mill

使いやすいプログラムが組み込まれている。顧客から良好な評価を得ており、新型の登場によりエアジェットシーブの販売が増えることを期待している。

さらに、図7の通り、テストセンタに客先テスト用の、マイクロ ジェットミルの配置が間もなく完了する。新しいジェットミルは、最新型の高性能分級装置を備えたマジック対向ジェットミルである。ジェットミルは、特定のアプリケーションに狙いを定めて、超微細域のニッチ市場向けに開発されたものである。

結論として、ホソカワミクロンインターナショナルは、持続的なビジネスの成長のためには、研究開発が重要であることを十分に認識している。市場の需要と顧客のニーズに応えるために、製品開発チームは、新製品開発と既存製品の改良を行うという重要な役割を担っている。