

Overview of Nauta Mixer[®] and Introduction of Topics

Kenji TAKEBAYASHI¹

Introduction: The Nauta Mixer[®] is a powder mixer developed in the 1940s in the Netherlands for mixing animal feed. The machine consists of a conical body with a mixing screw attached to a rotating arm. The Nauta Mixer has several favorable attributes, such as mixing swiftly with low energy consumption, minimal damage to the powder particles, ease of discharge with a low amount of residue, and ease of cleaning, making use of multiple products easier. The mixer has been widely adopted worldwide, with over 20,000 units sold across various industries.

Nauta Mixer[®] principle and design: The Nauta Mixer utilizes the principle of convective mixing, where the powder undergoes upward, downward, and spiral motions within the casing due to the rotation of the screw. The mixer design follows a geometric similarity, with the casing angle remaining constant across different capacities, while only the height varies. As the capacity increases, the screw length also increases proportionally. This design approach ensures consistent mixing performance across different mixer sizes.

Nauta Mixer[®] types and features: The Nauta Mixer is available in three main types: NX, DBX, and VN. The VN type, introduced in 1997, features a compact and sanitary design with improved drive-unit integration. Compared with the DBX type, the VN type offers a smaller footprint and improved cleanability while maintaining mixing performance.

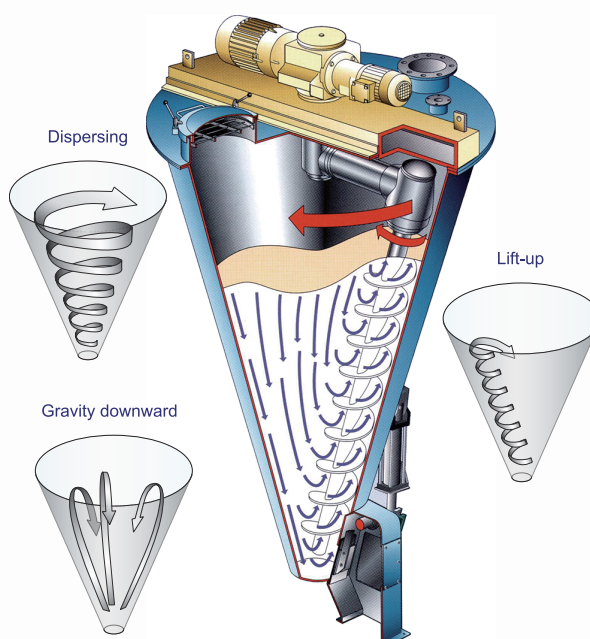
Case study: low-floor VN mixer: A case study is presented where a low-floor 5000-L VN Mixer was replaced a horizontal mixer, addressing issues such as poor powder discharge and blocking by powder. The low-floor design was achieved by cutting the bottom section while ensuring adequate mixing performance through design modifications.

Research on mixing time: Research on estimating the mixing time for the Nauta Mixer is discussed, highlighting the correlation between mixing time and various parameters, such as screw diameter, length, rotational speed, and Froude number. While empirical equations show good agreement for smaller capacities, deviations are observed for larger mixers, likely due to more active convective mixing at higher powder levels.

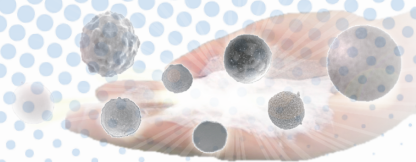
Conclusions: The Nauta Mixer provides efficient convective mixing with minimal shear and temperature rise, making it suitable for various applications. Hosokawa Micron continues to innovate and provide tailored solutions to meet a variety of customer requirements and applications.

Keywords:

Nauta Mixer
 Convective mixing
 Geometric similarity
 Rotational speeds
 Mixing efficiency



¹ Section Manager, Tokyo Engineering Group, Powder Processing System Division, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN



ナウタミキサ®の概要とトピックス紹介

竹林 賢治

ホソカワミクロン株式会社 粉体システム事業本部 東京技術部 課長

抄 録

混合技術は長い歴史を持つ分野であり、混合装置の基本的な設計思想は 50 年以上前に開発されたものが多い。ナウタミキサ®も歴史が古く、1940 年代にオランダで開発され、これまで世界中で 2 万台以上の納入実績を持つ粉体混合機である。本稿では、ナウタミキサの歴史、混合機としての位置付け、混合モデル、設計思想、および型式ラインナップと比較的新しい VN 型の特徴をまとめる。またトピックスとして、低床型ナウタミキサの納入事例と混合時間の推定に関する研究を紹介する。

1 はじめに

粉体ハンドリングの単位操作として、粉碎・分級・混合・造粒・集塵などがある。粉体ハンドリングは様々なプロセスで用いられている。混合技術は長い歴史を持つ分野であり、混合装置の基本的な設計思想は 50 年以上前に開発されたものが多い。高い汎用性を持つナウタミキサ®は、1940 年代にオランダで開発され、これまで世界中で 2 万台以上の納入実績を持つ粉体混合機である。

本稿では、ナウタミキサの歴史、混合機としての位置付け、混合原理、設計思想、型式ラインナップ、比較的新しい VN 型の特徴をまとめる。また、トピックスとして、低床型ナウタミキサの納入事例と、混合時間の推定に関する研究についても紹介する。

2 ナウタミキサ®の歴史^[1,2]

ナウタ (Nauta) 社は、1923 年にオランダ北部の酪農地帯の町、レーワルデンで製粉機の製造所としてスタートした。ナウタミキサは、1940 年代に牛の飼料混合用に開発された混合機で、その構造は、らせん状のスクリュ、スクリュを回転させるドライブユニット、スクリュ下部支持のユニバーサルジョ

イント、逆円錐形ケーシングを組合わせたものであった。

1960 年代から 1970 年代にかけて、ナウタは混合機の代名詞となるほどの成長を遂げ、世界市場を席卷した。1963 年、当社は Nauta 社とクロスライセンス契約を結び、同社の技術を導入して製造販売を開始した。その 19 年後の 1982 年に当社は Nauta 社を買収し、社名を Hosokawa Nauta BV に変更した。

オランダでは、Nauta 社の他に 1960 年代に逆円錐形ケーシングの混合機を製造しているメーカーが存在していた。それは、1939 年にオランダ東部のツェルヘムに鍛造やストーブなどのメーカーとして創設された Vrieco 社である。同社は製粉機器の製造を開始、次第に混合機メーカーとしてのシェアを拡大した。1983 年に当社が Vrieco 社を買収、当時、Nauta 社と Vrieco 社で欧州における混合機市場の 70% を占めるまでになった。

1987 年に Nauta 社と Vrieco 社と他 1 社を併合、1999 年に社名を Hosokawa Micron BV (以下 HMBV) に変更し、混合機や乾燥機、造粒機を中心とした開発、製造、販売及び受託加工事業を現在も展開している。

ナウタミキサは、食品、化成品など様々な分野で導入されており、世界中で 2 万台以上販売されてい

る。当社は1997年からHMBVで開発された新しいナウタミキサのドライブユニットを導入、型式はVriecoおよびNauta社の名前を受け継いだVN型として製造・販売を開始している。

3 ナウタミキサ®とは

3.1 ナウタミキサ®の混合機としての位置付け

当社のバッチ式混合機（一部粒子設計機を含む）には、ナウタミキサ、バイトミックス、サイクロミックス、メカノフュージョンやノビルタなどがラインナップされている。

混合とは、粉体を混ぜ合わせる操作であり、混合機には粉体を混ぜるための攪拌ロータなどの機構を有している。混合機別で混合時における粉体に与える負荷の度合いを図1に示す。混合機の中でナウタミキサは、低周速で運転されており、粉体に与えるせん断力も小さい装置である。

次に、混合性能について説明する。混合機の混合性能や特色を評価する手法として、明度測定による混合特性評価法がある^[3]。白色の炭酸カルシウムに赤色のベンガラを添加したものを原料とし、混合品の着色度合いを明度測定装置（光学ファイバースコープ式混合度計）にて測定し、混合到達度として評価する。混合品が赤色に着色し、混合到達度1を完全混合とする。機種ごとの標準偏差による混合性能を図2^[4]、混合到達度を図3^[4]に示す。各機種での標準偏差から見た混合性能は機種間で大きな違いは見られず、短時間で偏差変動は小さくなる。一方、混合到達度は機種により大きな違いが見られる。

ベンガラは凝集性のある粉体であり、せん断や衝撃を与えられる機種ほどベンガラは分散し、白色の

炭酸カルシウムを覆い、混合品は赤色に着色される。

ナウタミキサは低周速・せん断型の対流型混合機に分類され、その特徴^[5]は、①混合時間が短い。②標準偏差は小さく混合時間による偏差変動もほとんどない。③所要動力が小さく、品温の上昇も小さい。④粉体の損傷が少ない。混合到達度が低いことから、粒子単位のマクロ混合ではなく、マクロ混合＝全体混合を目的とした混合機である。

3.2 ナウタミキサ®の混合原理

ナウタミキサには、逆円錐形のケーシング内にスクリュが開放された状態で設置されている。スク

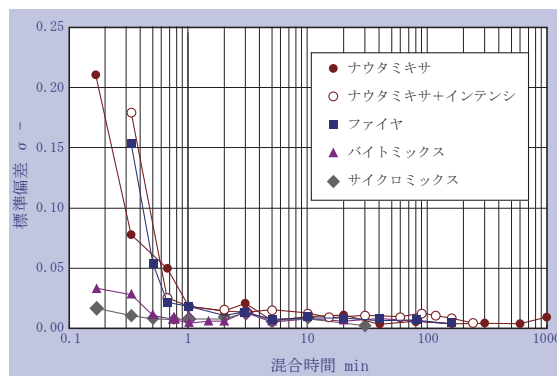


図2 標準偏差による混合性能比較

Fig. 2 Comparison of mixing performances by standard deviation.

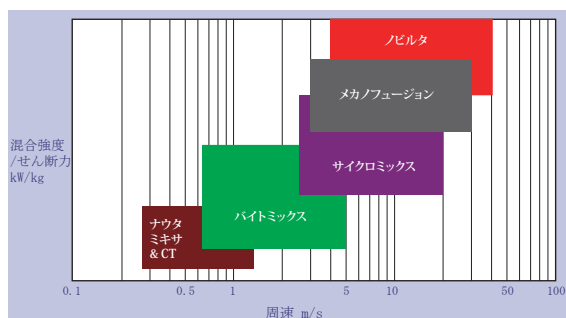


図1 混合機別での粉体に与える負荷比較

Fig. 1 Comparison of the load on powder by mixer.

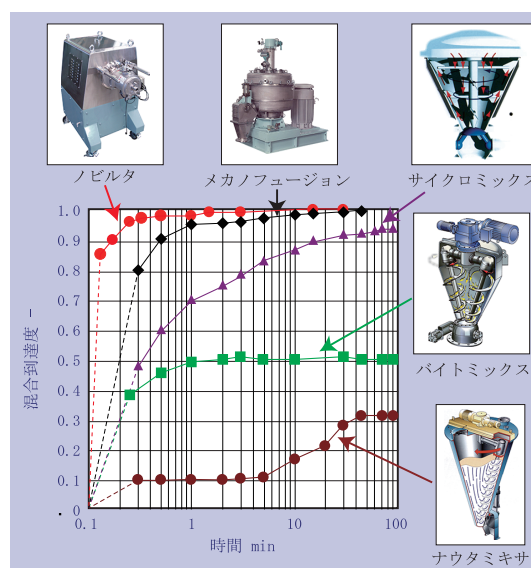


図3 混合到達度による混合性能比較

Fig. 3 Comparison of mixing performances by mixing attainment.

リユは、スクリュ本体の回転（自転）とケーシングに沿った回転（公転）の2つの動きで運動する。

ナウタミキサの粉体対流挙動を図4に示す^[4]。

①粉体の上昇運動

スクリュの自転によりケーシング内の粉体は上方に移動する。

②粉体の下降運動

粉体の上昇運動に伴い、スクリュ部分以外の粉体は下方へ移動する。

③粉体の分散・移動運動（らせん運動）

自転と同時にスクリュの公転により、粉体はケーシングに沿って順次円運動を起こす。

この粉体挙動に加えて、スクリュは開放されたケーシング内に設置されているため、自転運転中は、スクリュのピッチ間でも粉体の上昇と周囲粉体との攪拌も行われている^[5]。

このように上昇・下降・円運動による粉体の対流作用により全体混合が行われる。

3.3 ナウタミキサ® の設計思想

ナウタミキサは、大きく4つのパーツ：逆円錐形のケーシング、ギヤボックス、スイングアームおよびスクリュで構成されている（図5(a)）。容量の増加に伴い、底面内径はほとんど変化せず、ケーシングの角度は一定とし、高さのみを変化させ、幾何

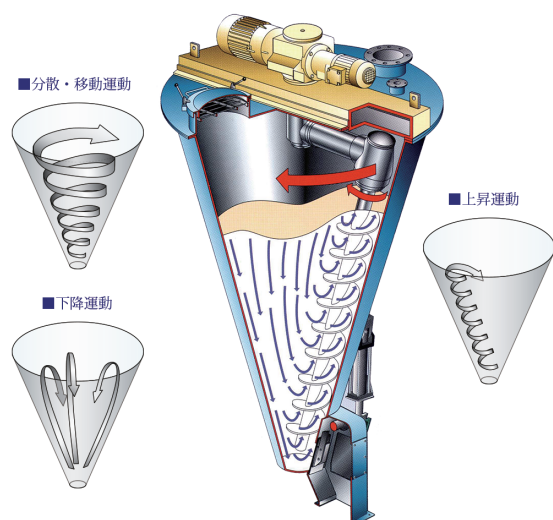


図4 ナウタミキサ® の粉体対流挙動

Fig. 4 Powder convection behavior of Nauta Mixer®.

学的に相似した形状で設計される。自転モータは容量増加の割合に応じて動力を大きくし、公転モータの出力は自転モータの約 1/10 である。

一方、スクリュは、容量の増加に対応して、スクリュ長さは長くなるが、外径には相似性はなく、スクリュ単体の搬送能力は、相似的な関係ではない。

ケーシング底部にスクリュ下部軸受がない片持ち型と、スクリュ下部に軸受け部がある下部支持型がある（図5(b)）。

3.4 ナウタミキサ® のラインナップ

ナウタミキサは、①NX型、②DBX型、③VN型の3つの代表的な型式の特徴を以下に示す。

①NX型

- ・容量：20 L～50000 L
- ・自転モータ動力：最大 45 kW
- ・600 L までは片持ち型、600 L 以上は下部支持型

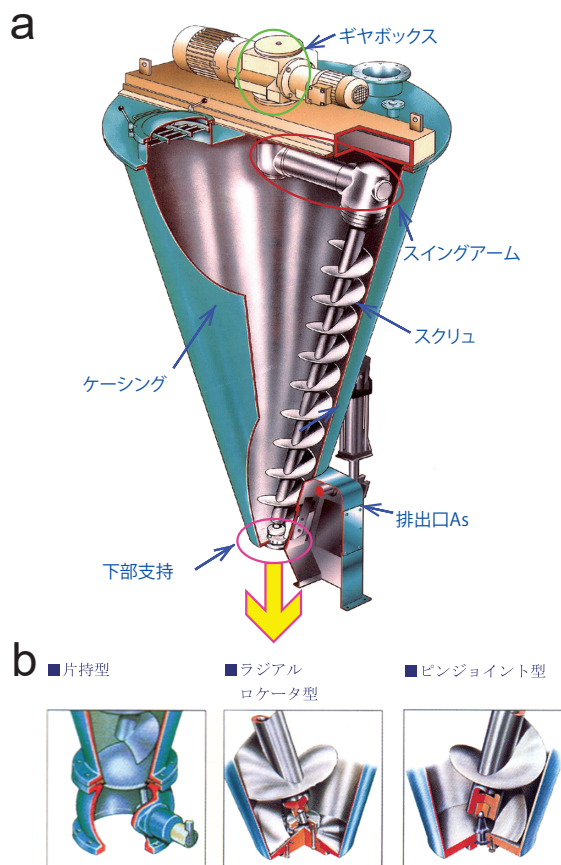


図5 (a) ナウタミキサ® の構造 (b) ナウタミキサ® の下部支持種類

Fig. 5 (a) Structure of Nauta Mixer®. (b) Lower bearing types of Nauta Mixer®.

② DBX 型

- ・容量：600 L～10000 L
- ・自転モータ動力：最大 22 kW
- ・すべて片持ち型

③ VN 型

- ・容量：500 L～10000 L
- ・自転モータ動力：最大 18.5 kW
- ・片持ち型は、最大 6000 L まで、下部支持型はすべて対応可
- ・コンパクト化およびサニタリー性の向上

3.5 ナウタミキサ®VN 型の特徴

ナウタミキサ VN 型は、コンパクト化とサニタリー性の向上を目的に設計したドライブユニットを搭載した型式である。

表 1 は、1000 L から 4000 L の範囲で DBX 型と VN (片持ち) 型の機器寸法を比較したものである、図 6 は、4000 L で同じ動力の DBX 型と VN 型の装

置外形図を示している。図 7 は、同じモータ容量のギヤボックスとスイングアームを比較している。

容量が 4000 L で装置全体の大きさを比較すると、VN 型は DBX 型より一回り小さいサイズで、DBX 型の 3000 L とほぼ同じ大きさである (表 1)。ケーシングの設計思想は同一のため、この小型化は、図 6 の赤枠の水張レベルからモータまでの高さ比較でわかるように、ギヤボックスとスイングアーム接続を一体化させて高さを抑え、サイズも小さく、軽量に設計されている。図 7 の赤丸枠に示したように、スクリュ取付部の構造変更により、装置の全体のコンパクト化が実現されている。

さらに、スイングアームの接続部の取り付けボルトが DBX 型では露出している (図 7 青丸枠参照) のに対して、VN 型では内ボルト固定式を採用している。突起物や凹凸が少ない構造に変更したことでサニタリー性に優れ、洗浄性も向上し、品替えが頻繁な業種にも適している。また、搭載するモータは

表 1 DBX と VN (片持ち) ナウタミキサ®の機器寸法比較表

Table 1 Comparison of equipment dimensions between DBX and VN (cantilevered) Nauta Mixer®.

項目	単位	1000 L/3.7 kW		2000 L/7.5 kW		3000 L/11 kW		4000 L/18.5 kW	
		DBX	VN	DBX	VN	DBX	VN	DBX	VN
全長差	mm		-318		-377		-680		-689
装置全長	mm	3266	2948	4100	3723	4795	4115	5416	4727
ケーシング長	mm	2300	2176	2970	2795	3540	3187	3810	3544
ケーシング上部径	φ mm	1703	1604	2138	1982	2487	2222	2812	2504

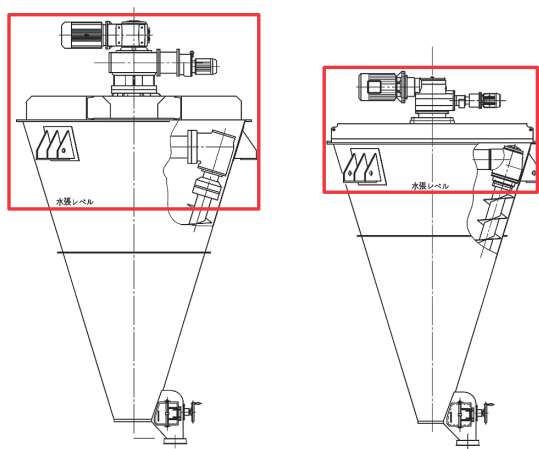


図 6 容量 4000 L DBX (左) と VN (右) の外形寸法比較

Fig. 6 Comparison of 4000 L DBX (left) and VN (right) dimensions.

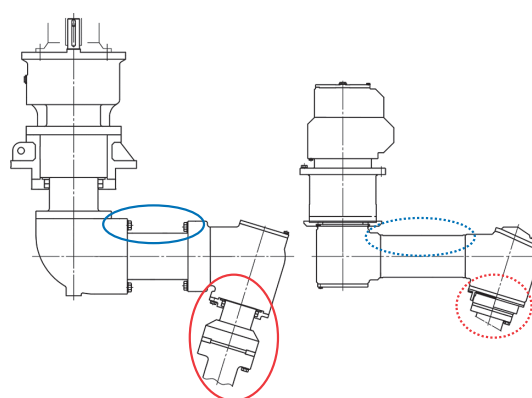


図 7 4000 L DBX (左) と VN (右) のギヤボックスとスイングアーム大きさ比較

Fig. 7 Comparison of the gearbox and swing arm of the 4000 L DBX (left) and VN (right).

減速機付きモータではなく、汎用のフランジ型モータを採用していることも特徴である。

4 トピックス 1：ナウタミキサ®VN 型の納入事例

横型ミキサから設置高さが必要なナウタミキサを納入した事例を紹介する。ナウタミキサの型式は、ナウタミキサのランナップの中でコンパクト化を実現した VN 型である。

既設機は横型ミキサで、混合の目的はロット調整である。混合粉の排出効率が悪く、粉体物性も高付着性と圧縮性を有するため、攪拌羽根（スクリュ）とケーシングの隙間に直ちに固着層が形成される。そのため、運転ごとに洗浄が必要となり、生産効率が低下する課題があった。

ナウタミキサのケーシングは角度があり、スクリュの周速も低い。スクリュの軌道は、ケーシング全周をカバーしているため、付着への対応性や排出効率の改善は達成できる。しかし、装置高さを如何に抑えることができるかが、課題であった。

ナウタミキサ VN 型の標準仕様では、設置高さをクリアできなかったため、さらに底面部分をカットし、標準よりも 550 mm 機器高さを抑えた“低床型の 5000 L-VN”を選定した（図 8）。

底面部分カットによる混合性能の低下を回避するため、スクリュの自転運動や公転運動での粉の動きを確認し、動きが抑制される部分が極力小さくなるような対策を講じた。また、粉の付着に対しても洗浄が容易にできるように底部側面に点検口を設け、底

面部は開閉式とした。

このようにナウタミキサ VN 型のコンパクト化により、これまで対応できなかった装置高さに対応できる可能性を示せた。機器の性能を低下させることなく要求に応える機器提案を今後も積極的に進めていきたいと考える。

5 トピックス 2：ナウタミキサ®の納入混合時間に関する研究

ナウタミキサ関連する様々な論文が公表されている。その中からナウタミキサの混合時間に関する論文を紹介する。

ナウタミキサは、対流混合が主体であるため、装置を幾何学的に相似スケールアップした場合の機器条件パラメータの関数 f は式（1）で表される^[6]。

$$t_m \times N_s = f\left(\frac{N_s}{N_a}, \frac{N_s^2 \times d_s}{g}, \frac{\ell}{d_s}\right) \quad (1)$$

t_m	混合時間	[s]
d_s	スクリュ外径	[m]
ℓ	スクリュ長さ	[m]
N_s	自転回転速度	[rps]
N_a	公転回転速度	[rps]
Fr	攪拌フルード数	[-] ($N_s^2 \times d_s / g$)
g	重力加速度	[m/s ²]

10 種類の原料で混合実験を実施し、混合推定式（2）を示している。

$$t_m \times N_s = \alpha \times \left(\frac{\ell}{d_s}\right)^\beta \quad (2)$$

α, β 係数 [-]

式（2）で算出した結果を当社ナウタミキサの実績混合時間と比較すると約 2000 L 程度までの容量であれば算出値と実績値の相関性は見られるが、容量が大きい機種では式（2）算出結果よりも短時間で完了している事例が少なくない。

粉体物性にも左右されるが、混合機の容量が大きくなると、粉体レベルは高くなり、図 4 で示したスクリュでの対流挙動がさらに活発化していると推察される。また、混合状態の判定方法は多種多様で

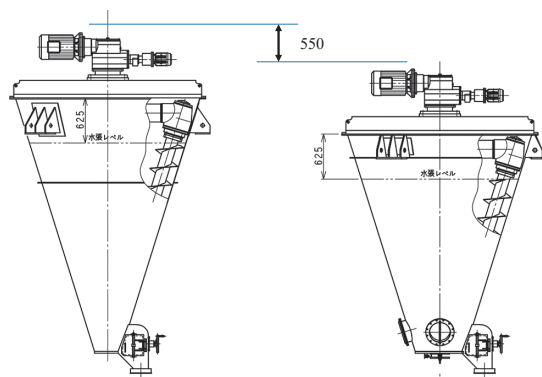


図 8 5000 L-VN（低床型）と標準型の高さ比較

Fig. 8 Comparison of height between the 5000 L-VN (low floor type) and standard type.

あり、一概に基準を設定することが困難であることも混合時間を規定しにくい要因である。

6 おわりに

バッチ式混合機ナウタミキサ®の概要をまとめ、トピックスとして、低床型ナウタミキサ VN 型（低床タイプ）の納入事例や混合速度に関する研究を紹介した。当社ではナウタミキサ以外の混合機や粉砕、乾燥、集塵のほか多様な機器をラインナップしている。これからも仕様や目的に合わせた機種選定に加え、要求を満足するための工夫を凝らした提案ができるよう、積極的に取り組んでいきたいと考える。

References

- [1] ホソカワミクロン（株）編：創業 100 周年記念 ホソカワミクロンのあゆみ，“Netherlands Hosokawa Micron BV”，凸版印刷（株），大阪（2016），pp. 152.
- [2] ピータ G.J. ファンデアペール，“ホソカワミクロン BV における粉体技術の研究開発”，粉砕，59（2016）79-85.
<https://doi.org/10.24611/micromeritics.2016013>
- [3] SAP 16-13，“明度測定による粉体混合装置の混合特性評価方法”，日本粉体工業技術協会，2013.
https://appie.or.jp/wp-content/uploads/2018/10/sap16-13_2013.pdf accessed10072024.
- [4] ホソカワミクロン（株）編：ホソカワ製品ハンドブック，“混合 ホソカワ／ナウタ ナウタミキサ”，凸版印刷（株），大阪，（2013），pp. 278-280.
- [5] 丹羽久雄，“ナウタミキサ”，粉体工学研究会誌，5（1968）981-985. <https://doi.org/10.4164/sptj1964.5.981>
- [6] Entrop W., International Symposium on Mixing, 1978, D1, pp. 1-14.

著者紹介



竹林 賢治 Kenji TAKEBAYASHI

【経歴】 1992 年 信州大学繊維学部精密素材工学科卒業。同年ホソカワミクロン株式会社入社。2010 年 東京農工大学大学院生物システム応用科学府生物システム応用科学専攻博士後期課程修了。2017 年から現職。

【専門】 粉体システムエンジニアリング。

【連絡先】 kgtakebayashi@hmc.hosokawa.com

ミニ粉体技術

混合モデルからの混合機の選定

Selection of Mixers Based on Mixing Models

混合は原料の性状や種類、混合形態など、多種多様である。本講では、2 種類の混合モデルを基にした混合機の選定について紹介する。

【混合モデル】単一粒子の粉体 A（○）と凝集性のある粉体 B（●）との 2 種類の混合モデルを下図に示す。a) モデルでは、粉体 B の凝集粒子は分散せずに粉体 A と均一に混合される単純混合，b) モデルでは、粉体 B の凝集粒子は分散して粉体 A と均一に混合される精密混合である。

【混合機の種類】a) モデルの場合、ソフトな混合が必要とされ、粒子群を大きく移動させて混合するナウタミキサのような「対流混合機」が選定機種となる。これに対して、b) モデルでは、粒子群を分散させるためにせん断・衝撃力を与えて混合するサイクロミックスのような「せん断混合機」が適している。

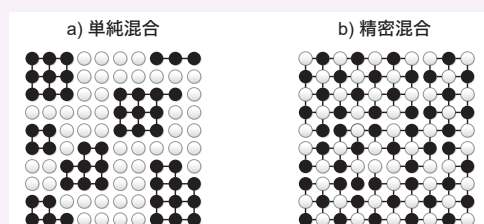


図 1 2 種類の混合モデル
Fig. 1 Two mixing models.

表 1 混合機の種類・特徴

Table 1 Types and features of mixers.

混合機種類	対流混合	せん断混合
代表機種	ナウタミキサ®	サイクロミックス®
周速	低速	高速
分散力	小	大
動力	小	大
品温上昇	小	大