

# 機械式粒子複合化装置の変遷と今後の展望

## The Transition of Mechanical Particle Composing Machine and the Future Prospects

河原 正佳

Masayoshi KAWAHARA

ホソカワミクロン株式会社 粉体工学研究所 研究開発部長

Manager, Powder Technology Research Institute, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

### 抄 録

粉体の物理的、化学的、電気的および光学的な特性を単独あるいは複数変化させて初期とは異なる特性を発現させる機械式粒子複合化装置は、有用な粒子設計手段として、様々な分野で100を超えるユーザーに使用されている。その特徴は、粉体粒子自体に機械的なエネルギーを有効に作用させることにあるが、本報ではその装置の変遷と今後の展望について述べる。

### ABSTRACT

Mechanical Particle Composing Machine can change the physical, chemical, electrical and optical properties of the powder singly or multiply to develop different properties than the initial one and used by over 100 users in various fields as a useful particle design tool. The feature is that the mechanical energy is effectively applied to the powder particles themselves. This report describes the transition of the device and the future prospects.

## 1 はじめに

機械式粒子複合化装置は、複数の異なる粒子に強い機械的エネルギーを加えて新しい特性を持った粒子を創造する装置である。粒子の組み合わせには無限の可能性があり、また、加工された粒子の特性も無限の可能性がある。この装置は、乾式により材料の高機能化を目的とした粒子設計を実現するための処理方法として幅広い分野で使用されてきた。

湿式法、液相法などの他の粒子複合化方法では原料粒子の組合せの制限や乾燥工程などが必要になるが、本装置は工程がシンプルで、粒子の組合せの幅が格段に広いことが特長である。

## 2 基本原理と処理効果

機械式粒子複合化装置のロータとケーシングのクリアランス部において、単独あるいは複数の原料粒子からなる粉体層の個々の粒子に衝撃力、圧縮力およびせん断力を均一に作用させることにより粒子複合化処理が行われる(図1)。その機械的エネルギーはロータもしくはケーシングおよびその両方を回転させることにより粒子に与えられる。

この処理により以下の効果を実現されている。

- ① 粉体やその造粒体の流動性や充填性を向上。
- ② 粉体の熱的特性、機械的強度や電気特性などを改善。
- ③ 粉体やその造粒体の溶解性を向上。

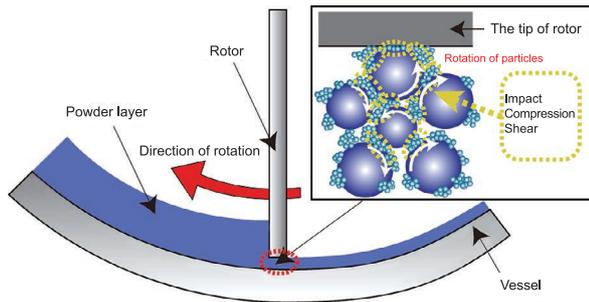


図1 機械式粒子複合化装置の基本原理  
Fig. 1 Basic principle of Mechanical Particle Composing Machine.

- ④ 粉体の溶出速度を制御。
- ⑤ 粉体やその造粒体に複数の粒子の機能を持たせる。
- ⑥ 化学反応速度の向上や抑制などの制御。

### 3 機械式粒子複合化装置の変遷

#### 3.1 循環型メカノフュージョン® システム AMS

機械式粒子複合化装置が市場に登場<sup>[1-5]</sup>して以来、ユーザー要望に応じて様々な改良が行われてきた。循環型メカノフュージョンは、ケーシングが回転するタイプで、遠心力により容器内壁に固定された粉体層にロータにより強力な衝撃、圧縮およびせん断力を与える装置である<sup>[6]</sup> (図2)。

繰返して機械的エネルギーを与えるために、壁面のスリットを通してケーシングの外側に送られた粉体が循環用ブレードによって戻される内部循環方法を採用している。これにより、粉体に機械的エネルギーを与えられる機会を多くし、また、均質性を高め、高速に粒子複合化を進行させることが可能になった。

#### 3.2 ノビルタ® NOB

一般的な混合や分散は、粉体に対して対流、せん断および拡散の3つの作用により処理されるが、ナノ粒子を原料にして複合化を行う場合には、粉体の強い凝集力以上の分散力が必要であり、粉砕機のような機能(衝撃、圧縮、せん断など)を兼ね備えている必要がある。しかし、従来の混合機や機械的複合化装置の多くは、対流、せん断および拡散のいずれかに偏った機能しか持たず、ナノ粒子の凝集塊が製品中に残存する。これにより、目的とする粉体特性が得られず、予備混合と複合化を別の装置で処理



図2 循環型メカノフュージョン® システム AMS  
Fig. 2 MECHANO FUSION® System AMS.



図3 ノビルタ® NOB  
Fig. 3 NOBILTA® NOB.

しなければならないなどの問題があった<sup>[7-8]</sup>。ノビルタは、ロータが回転するタイプで、衝撃、圧縮およびせん断の3つの力をバランスよく粒子に作用させるロータ形状と配列により、バインダーを用いることなく、ナノ粒子を効率的に複合化できる世界最高性能を有する装置として開発され、多くの産業分野で活用されるようになった(図3)。

原料に炭酸カルシウム ( $D_{50} = 24 \mu\text{m}$ ) および全量の5 wt.%の酸化鉄 ( $D_{50} = 200 \text{nm}$ ) を用いて、ノビルタと従来の混合機や循環型メカノフュージョンとの混合到達度(フォトメータによる測定値)を比較した結果を図4に示す。

ノビルタは従来機に比較して極めて早く混合可能な装置であることがわかる。

ノビルタはマクロ混合から精密微細混合まで広範

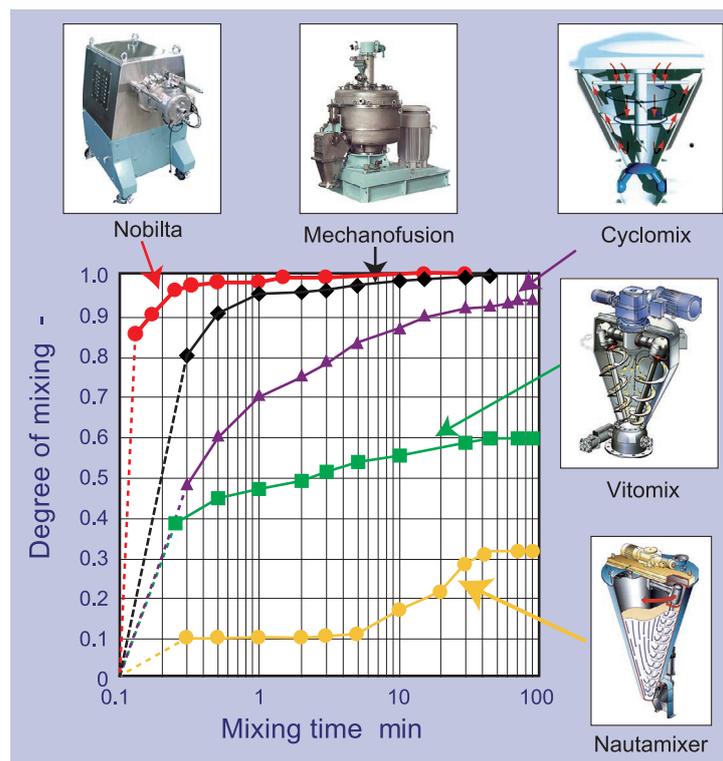


図4 ノビルタ®と従来機との混合到達度の比較  
Fig. 4 Comparison of mixing degree of NOB with conventional machines.

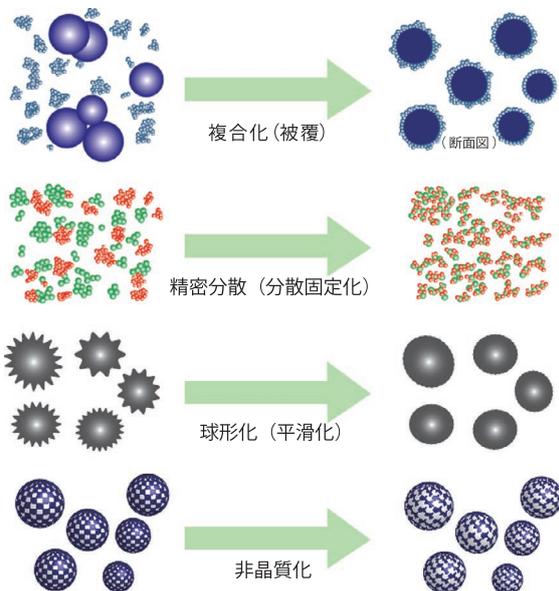


図5 ノビルタ®で可能な粉体処理  
Fig. 5 Possible powder processings by NOB.

困な分散を短時間に行うだけでなく、次の粉体処理が可能である (図5)。

- ① 複合化 (被覆) : 粒子径の異なる2種以上の粉体を混合の極限である被覆状態まで処理し、物理的特性や電気的特性などを変化させる処理。

- ② 精密分散 (分散固定化) : 2種以上の粉体を均質な状態近くまで混合させる処理。
- ③ 球形化 (平滑化) : 粒子表面の凸凹を平滑にして球形化度を高めたり、表面状態を変化させることにより物理的特性などを変化させる処理。
- ④ 非晶質化 : 結晶化度の高い有機物質などの粒子表面あるいは粒子自体をアモルファス化して物理的特性や化学的特性などを変化させる処理。

その粒子設計例として、スマートフォンや電気自動車などで用いられるリチウムイオン電池の正極活物質 (正極材) コバルト酸リチウム (LCO:  $\text{LiCoO}_2$ ,  $D_{50} = 7 \mu\text{m}$ ) 粒子とカーボンブラック粒子 (CB:  $D_{50} = 50 \text{ nm}$ ) の機械的複合化例を図6に示す。通常の混合機処理では均一な混合には到達せず、また、CB粒子も凝集体として残るが、ノビルタではLCO粒子の表面上にCB粒子が均一に分散されているところまで複合化可能であることがわかる<sup>[9]</sup>。

### 3.3 ノビルタ ベルコム™ NOB-VC

ユーザーニーズにより、ノビルタの性能を維持し、大容量 (最大 500 L) でコンパクト化を実現し、清掃性を大幅に改善したノビルタ ベルコム<sup>[10]</sup>が開発

テクニカルノート

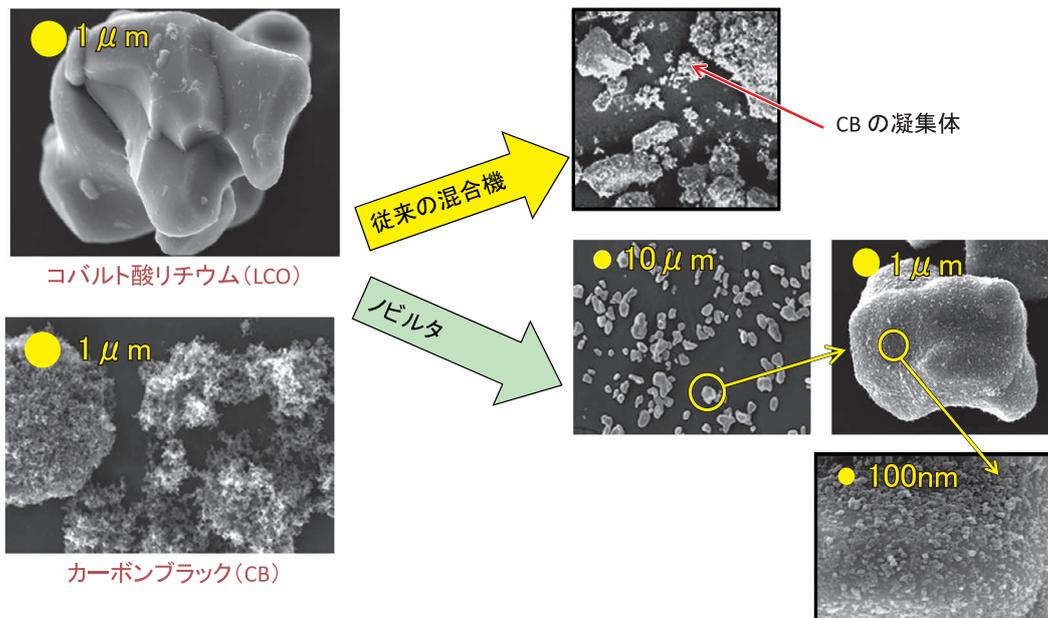


図6 ノビルタ®と従来機と機械的複合化の比較  
Fig. 6 Comparison of mechanical particle composing using NOB VC and conventional machines.



図7 ノビルタ ベルコム™ NOB-VC  
Fig. 7 NOBILTA VERCOM™ NOB-VC.

され、現在に至っている (図7)。本装置は、特殊な形状のロータが回転し、衝撃、圧縮およびせん断力が個々の粒子に均一に作用するように設計されている<sup>[11]</sup>。

この粒子設計例として、ケイ砂 ( $D_{50} = 21 \mu\text{m}$ ) とシリカ ( $D_{50} = 7 \text{nm}$ ) を 10 : 1 の割合で処理した結果を図8に示す。ノビルタとノビルタ ベルコムは同じ複合化エネルギーで、同じ比表面積 (BET 値) を達成できており、さらに従来の高速攪拌機に比べて、低いエネルギーで複合化可能であることがわかる。

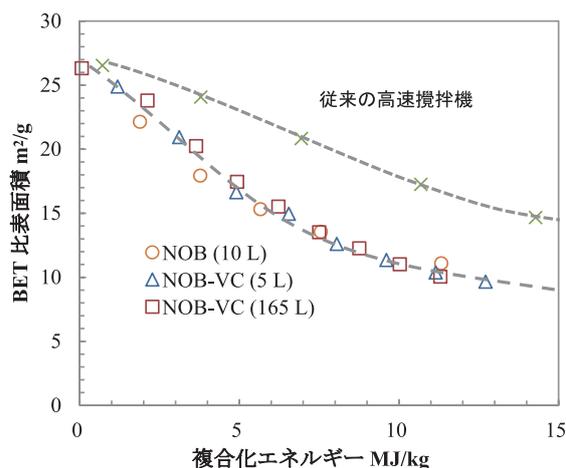


図8 ノビルタ ベルコム™と従来機の比較およびスケールアップ  
Fig. 8 Comparison of the particle composing performance between NOB VC of different sizes and the conventional machine.

#### 4 今後の展望

このように機械式粒子複合化装置は、高機能性を有する材料生産に対して寄与してきたが、近年は医薬分野<sup>[12-13]</sup>でも多くの注目を浴びている。粒子特性を変化させることにより、粉体やその造粒体の流動性、充填性、溶解性、打錠性を向上させたり、体内での溶出速度や反応速度を制御させたり、複数の粒子の機能を保持させたりする研究開発が進めら

れている。一方、医薬業界ではバッチ生産から連続生産への移行も進められており、弊社でもこれらに対応すべく医薬向けの連続生産可能な機械式粒子複合化装置の研究開発を行っている。この連続処理可能な機械式粒子複合化装置の表面改質例として、モデル粉体に樹脂 ( $D_{50} = 30 \mu\text{m}$ ) を用いた場合のSEM写真を図9に示す。

## 5 おわりに

弊社では一般的な混合や分散以上の効果を有する機械式粒子複合化装置の研究開発をユーザーの高度な要求を実現すべく取り組んできた。また、清掃性、コストダウン、コンパクト、運転制御、耐摩耗対策などの技術的課題に対しても長年取り組んできた。今後も信頼される生産装置をデジタル情報処理化や機械学

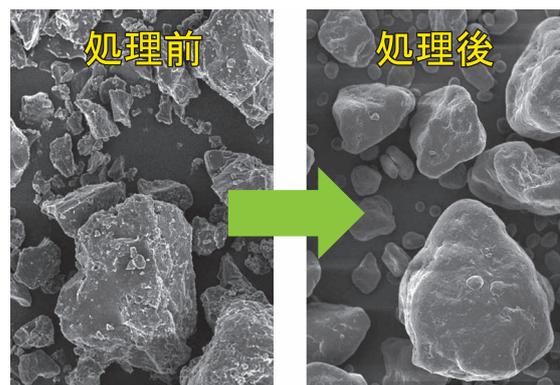


図9 連続処理可能な機械式粒子複合化装置による樹脂粒子の表面改質例

Fig. 9 An example of surface smoothing of resin particles by Mechanical Particle Composing Machine capable of continuous processing.

習なども含めて提供できるように努めていきたい。

## References

- [1] ホソカワミクロン(株) 編：メカノフュージョン，“メカノフュージョンによる粒子製造法”，pp. 17-35，日刊工業新聞社 (1989).
- [2] 横山 豊和，粉体技術の機能性材料作製への応用，粉砕，41 (1997) 56-66.
- [3] 横山 豊和，粉体の機能化と複合化，機械設計，38 (20) (1994) 8-165.
- [4] 横山 豊和，粉体の複合化・機能化技術，工業材料，41 (15) (1993) 27-33.
- [5] 丹野 浩一，横山 藤平，浦山 清，メカノフュージョン法による金属/セラミックス複合粒子の製造，粉体工学会誌，27 (3) (1990) 153-158. <https://doi.org/10.4164/sptj.27.153>
- [6] ホソカワミクロン(株) 編：ホソカワ製品バンドブック，“循環型メカノフュージョン® システム AMS”，pp. 310-311，凸版印刷(株)，大阪 (2013).
- [7] 猪ノ木 雅裕，最近のナノ粒子複合化技術，機能性材料，24 (7) (2004) 77.
- [8] 猪ノ木 雅裕，機械的エネルギーによるナノ粒子複合化技術の紹介，Filler，10 (12) (2006) 16-21.
- [9] 門脇ら，“第36回技術討論会テキスト「電池の高性能化と粉体技術」”，p. 70 (2001).
- [10] 羽木 孝輔，乾式粒子複合化装置 ノビルタ ベルコム<sup>TM</sup>，粉砕，60 (2017) 72-75. <https://doi.org/10.24611/micromeritics.2017014>
- [11] ホソカワミクロン(株) 編：ホソカワ製品バンドブック，“ノビルタ® NOB”，pp. 312-313，凸版印刷(株)，大阪 (2013).
- [12] 井上 義之，粒子設計，特に乾式処理について，粉砕，53 (2010) 80-84 <https://doi.org/10.24611/micromeritics.2010015>
- [13] 井上 義之，乾式粒子複合化技術ノビルタによる製剤への応用について，PHARM TECH JAPAN，26 (7) 1071-1074 (2010).

### 〈著者紹介〉



### 河原 正佳 Masayoshi KAWAHARA

〔経歴〕 1985年秋田大学大学院卒業。同年ホソカワミクロン株式会社入社。粉体システム事業本部を経て、1993年粉体工学研究所に所属し、2017年から現職。

〔専門〕 粉体処理装置（粉砕，分級，乾燥，混合，集塵，粒子設計など）と熱処理装置（焼却炉，反応炉など）。

現在は研究開発のマネージメントを行っている。

〔連絡先〕 [mkawahara@hmc.hosokawa.com](mailto:mkawahara@hmc.hosokawa.com)