

## 革新的な積層造形用金属粉体の効率的な 分級インテリジェントシステム

### Intelligent System for the Efficient Classification of Metal Powders for Additive Manufacturing

ダニエル ドローブ

Daniel DROOP

ホソカワアルピネ AG 技術本部 シニア R&D マネージャー

Senior R&D Manager, Technical Division, Hosokawa Alpine Aktiengesellschaft, GERMANY

#### 抄 録

本稿では、金属粉体を使用した選択的レーザー溶融（SLM: Selective Laser Melting）を用いた積層造形法をレビューして、SLM用金属粉体の粒子の大きさや形状に対する高い要求内容を明らかにする。製造過程において、ガスアトマイズシステムから得られる原料粉体は、流動性を改善するために微粉を除去する必要がある。さらに最大粒子径を正確に定義する必要がある。単一の処理操作で3成分に分級する分級機を使用して両方の課題を解決する方法について説明する。2ステップの分級操作により、分級点の微調整が可能となるため、ガスアトマイズ装置から得られる原料粉体を最適な方法で処理することができ、最後のふるい分け操作は不要となる。

#### ABSTRACT

The article reviews the additive manufacturing method of Selective Laser Melting (SLM) with metal powders to identify the high demands on particle size and shape for SLM metal powders. During production the raw powder from a gas atomization system needs to de-dust to improve the flowability and the top-cut has to be defined precisely. It is described how both tasks can be achieved with a 3-fractions-classifier in a single processing step. Thanks to the fine adjustable cut points of both classifying steps, the available raw material from the atomization process can be used in an optimum manner and a final sieving step is dispensable.

積層造形法の一つである金属3Dプリンティングが工業生産で実用化され始めた。従来の製造方法に代わる効率的で用途の広い代替手段として、選択的レーザー溶融（SLM）（粉体層溶融とも呼ばれる）などの積層技術が確立された。作製される部材は、粉体層の中で、0.02~0.2 mmの厚さの多数の薄い粉体被膜を連続して積層することにより成形される。その部材内部の固体構造体は、高出力レーザーまたは電子ビームで生み出される。ビームは粉体の最上層を

局所的に溶融し、同時に溶融物を下の層で凝固させる。次に、成形チャンバ全体をわずかに下げ、新しい粉体の薄い層が積層され、再び同じような操作が繰り返される。

SLMプロセスは、特に、非常に複雑で軽量の部材を製造する場合に有効である。これらの部材は、条件が揃えば、更なる特性や機能を発揮することができる。従来の製造方法と比較して、部材に必要な部品の数を減らすことができるため、SLMプロセ

スでは資源の節約が可能となる。材料の品質と強度は、場合によっては、従来の方法で製造された部材よりも高くなる<sup>[1]</sup>。

### 粒子の形状と大きさに対する高い要求

金属粉体の特性は、3Dプリンティングを使って信頼性の高い結果を得るために非常に重要である。製品がより微細化する傾向にあることから、粉体自体の製造もますます困難になることが予想される。原料金属は誘導炉で溶融され、ガスアトマイズシステムで粉体に加工される。形成される液滴はガス流中で比較的ゆっくりと冷却され、凝固する前に表面張力によって自然に球状になる。ほぼ球状となった粒子は、固体材料から作られたものに匹敵する特性を持つ、欠陥のない部材を作るために不可欠である。

粒子の形状の他に、その大きさは粉体の特性を支配する決定的な因子であり、したがって部材の特性に関連する重要な要因である。粗大粒子は、プリンタの粉体層の引っ掻き線の原因となり、部材が不均一になる。粉体に、微小な残留ダストが残っていると、粉体の流動性が悪化する問題が生じる。これらの粉体のバルク特性が最適に調整されていないと、不均一な密度の部材ができ、空孔が生じる可能性がある<sup>[2]</sup>。

これが、ガスアトマイズシステムで製造された粉体製品をさらに処理し、粉体の粒子径を分級プロセスで調整する必要がある理由である。SLM プロセ

スで使用される一般的なタイプの粉体の最大粒子径  $x_{95}$  は約 40~50  $\mu\text{m}$  であるが、他の応用では 80  $\mu\text{m}$  と 100  $\mu\text{m}$  ないしは 150  $\mu\text{m}$  の間の粉体が使われている。特に約 15~20  $\mu\text{m}$  以下の細かい粉体は、流動性を向上させるために除塵しなければならない。粗大粒子と微粉ダストを取り除いた粉体製品は、SLM プロセスにおいて最も望ましく、薄く、密に詰まった均一な層を形成することができる。

### ホソカワアルピネ TTSP：完璧な粉体のための最適な分級プロセス

これまで粗い側の分級点は通常ふるい機で決められ、その後バルク材料特性を改善するためのワンステップ分級によるダスト除去が行われてきた。このダスト除去に必要な分級点は約 15~20  $\mu\text{m}$  であり、ふるい分けプロセスだけではもはや経済的に実行するのは困難である。

その進化したプロセスでは、ホソカワアルピネのタンデム超微粉分級機 TTSP を使うことで、積層造形の要件に正確に合わせて分級径を調整することができ、ワンステップで目的とするシャープな粒子径分布を実現することができる (図 1)<sup>[3,4]</sup>。分級プロセスの供給物は通常、ガスアトマイズシステムの生成物であり、フィーダ容器から TTSP 分級機に連続的に供給される。最初の分級ステップでは、15  $\mu\text{m}$  以下の不要なダスト部分を分級・除去する。このダストは分級機から気流によって排出され、サイクロ

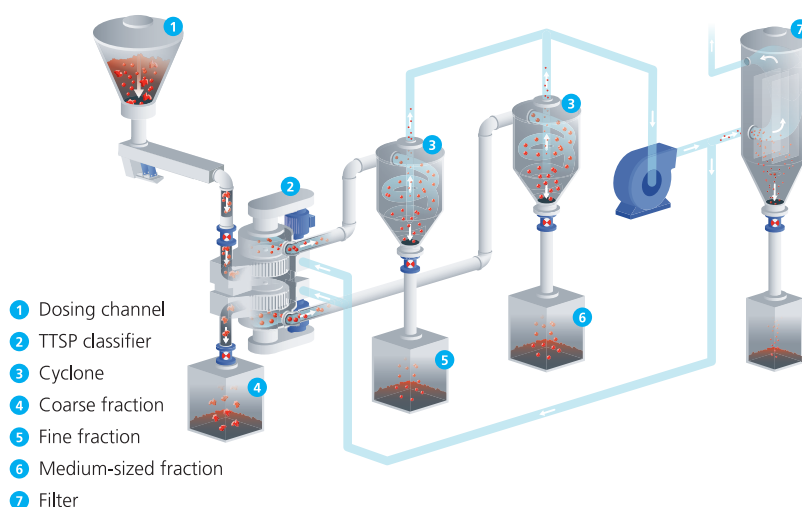


図 1 TTSP システムの構成  
Fig. 1 Configuration of a TTSP system.

テクニカルノート

ンまたはフィルタで捕集される。

最終製品は、2番目の分級ステップで調整される。このため、下側の分級ロータは、指定された直径約40 μmまでの粒子を通過させることができるが、この分級点は大幅に粗く、または細かく設定できる。粒子径が中間の成分は、気流によってサイクロンまたはフィルタに送られる。粗い粒子は両方の分級ロータによって除外され、装置下端から粗粉として排出される。

一般に、金属粉体は、粒子と処理ガスとの望ましくない反応を防ぐために、不活性雰囲気中で処理す

る必要がある。したがって、TTSP システムは、気密設計でレイアウトされ、使用される不活性ガスは回路内でリサイクルされる。この対策は、防爆の観点から必須であるだけでなく、最終的に粉体の特性に悪影響を及ぼす金属光沢のある粒子表面での酸化物層または窒化物層の形成を防ぐことから大変重要である。

両方の分級ロータで分級点の微調整が可能であることから、利用できる原料粉を最適な条件で使用できる。図2は、SLM用の粉体の処理で得られる粉体の粒子径分布を示している。ここで対象とする最

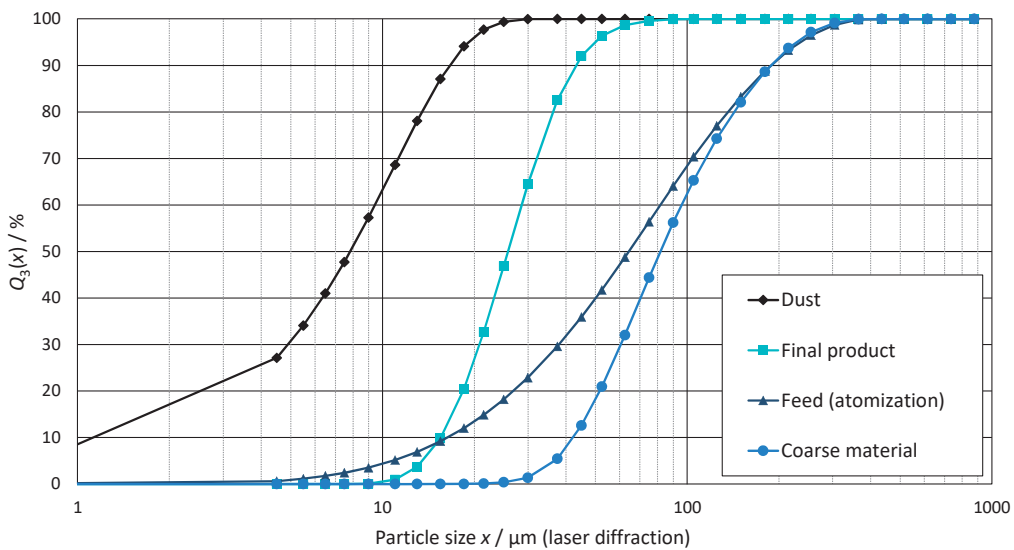


図2 SLM用原料粉体の処理の際に得られる粉体のそれぞれの粒子径分布  
Fig. 2 Particle size distributions which develop in the processing of an SLM powder.

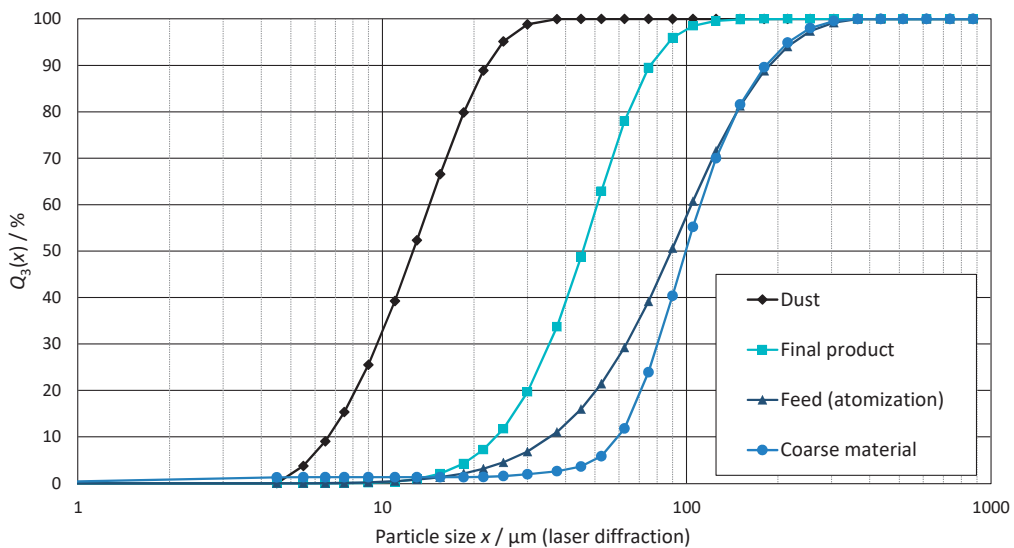


図3 比較的粗い金属粉体を得る際のそれぞれの粉体の粒子径分布  
Fig. 3 Particle size distributions for a coarser metal powder type.

終製品の粒子径分布は約 15~45 μm である。図 3 は、たとえば、目標の最大粒子径  $x_{95}$  が約 90 μm の場合の粒子径分布を示す。素材にもよるが、粗い粉体の応用例では 160 μm までの分級点のものが得られ、細かい粉体の場合では、 $x_{95}$  が 10 μm 以下の粉体を製造することができる。このような細かい粉体は、たとえば、マイクロ SLM プロセスを使用してさらに微細な構造体を作製する際に必要となる。

TTSP には現在 4 つの大きさの装置があり、30~300 kg/h で金属粉体を処理できるように設計されている (図 4)。小型の装置でも、金属粉体用の一般的なガスアトマイズシステムからの出力粉体を処理することができる。

3 成分に分ける分級機を実装すると、一つの処理ステップを省略することが可能となる。これによって、ふるいを用いて製品を処理する必要性がなくなり、さらにセットアップ、制御およびメンテナンスに必要な時間を省くことができるようになる。ユー



図 4 ホソカワアルピネ製タンデム超微粉分級機 TTSP  
Fig. 4 Tandem ultrafine classifier TTSP from Hosokawa Alpine.

ザは、分級点を容易に調整しながら、堅牢なプロセスを実現しつつその安定性を向上させることができる。

## References

- [1] TAB (Office of Technology Assessment at the German Bundestag), Additive manufacturing (3D printing), (2017) TAB-Fokus no. 15, <<https://www.tab-beim-bundestag.de/en/pdf/publications/tab-fokus/TAB-Fokus-015.pdf>> accessed 29092020.
- [2] Asche S., Additive fertigung: pulver ist nicht gleich pulver, VDI nachrichten, 9 August, issue: Nr.32/33 (2019) 22.
- [3] Droop D., Bewährte technologie trifft auf innovatives verfahren, Additive Fertigung, 2 April, (2020) 36–38. <[https://www.x-technik.at/downloads/flipbook/additive%20fertigung/2020/AF\\_02\\_2020\\_screen.pdf](https://www.x-technik.at/downloads/flipbook/additive%20fertigung/2020/AF_02_2020_screen.pdf)> accessed 29092020.
- [4] Sander S., Droop D., Current trends in air classification of fine powders, Book of Extended Abstracts for 16th European Symposium on Comminution & Classification (ESCC 2019), Leeds, UK, 2–4 September, (2019) 15–16. <<https://esc2019.com/wp-content/uploads/2019/08/ESCC2019-Book-of-Extended-Abstracts-Provisional-Copy-.pdf>> accessed 29092020.

### 〈著者紹介〉



### ダニエル ドロープ Daniel DROOP

〔経歴〕 ダニエル・C・ドロープは、クラウスタール工科大学を卒業し、機械プロセス工学の学位を取得。2004年には、ドイツの Hosokawa Alpine AG アウクスブルクに入社し技術本部に配属。空気分級機に重点を置いた R & D プロジェクトのプロジェクトマネージャーとして勤務。

〔専門〕 粉体処理技術の研究

〔連絡先〕 d.droop@alpine.hosokawa.com