

金属AMに適した粉末製品

Powder Products Suitable for Additive Manufacturing

1. はじめに

金属3D造形（金属AM：Additive Manufacturing）は複雑形状の部品や金型等を効率的に製造する次世代技術として、航空・宇宙、自動車、エネルギー、生体材料等様々な分野で注目を集めている。当初は原料が樹脂に限定されていたが、レーザーや電子ビームといった高エネルギーの熱源を用いる金属AM造形機の開発に伴い、金属粉末を用いた工業製品としての金属AMの適用が本格的に指向されることとなった¹⁾。

金属AMは、従来の加工法では困難であった3次元複雑形状部品が作製できるということであり²⁾、ニアネットシェイプ化とそれに伴うプロセス簡略化が可能となるため、部品作製に必要な材料及びエネルギーの消費量を削減できる。また、最適形状設計（トポロジー最適化）による新たな製品デザインの可能性も期待される³⁾。以上から、金属AMは部品製造プロセスの革新に大きく寄与する次世代加工技術として世界各国が官民挙げて各種アプリケーションへの適用に向けた技術開発を推進している。

一般に金属AMに用いられる粉末は、造形時の粉末搬送性と造形体密度を確保するため、流動性と充填性に優れた球形粉末が得られるガスアトマイズ工法が採用されることが多い⁴⁾。

当社では、ガスアトマイズ粉末が有する高品質な粉体特性と工業的生産性などの優位性に加え、本製造方法特有の熔融状態からの急冷微細組織が様々な機能材料分野においてメリットとなり得ることに着目し、1989年に粉末事業を立ち上げて以来、各種サイズของガスアトマイザーを導入してきた。現在では、自動車、電子材料等、各種産業で活用され、使用される材料も構造材から機能材料まで多岐に渡っている。特に金属AMについては、今後の市場性、ガスアトマイズ粉末の特性とのマッチング、いずれの観点からも非常に期待できる分野であり、当社が最も力を入れて取り組んでいる新規アイテムの一つである。

当社では、ユーザーでの金属AM造形を粉末材料と造形条件の両面からサポートすることを目的に、EOS社製の造形機を2台導入し、金属AM造形に適した粉末の開発を進めてきた。その結果、AMに適した各種金属粉末として「NOVASHAPE®シリーズ」をラインナップしており、

様々な業界でご使用いただいている。

本報では、当社「NOVASHAPE®シリーズ」の主な特徴と代表的な製品ラインナップについて紹介する。併せて、AM用として当社独自鋼種である造形性に優れたCu合金粉末、高熱伝導を特徴とする金型用粉末「S-MEC®シリーズ」について技術的観点から解説する。

2. AM用金属粉末「NOVASHAPE®シリーズ」

表1に当社のAM用金属粉末「NOVASHAPE®シリーズ」の一例を示す。当社では、各種サイズของガスアトマイザーを保有しており、数kgの試作レベルから数tオーダーの量産レベルまで、顧客のニーズに応じた製造が可能である。また、表1に示した合金以外に、顧客指定成分についても製造する体制を整えている。

当社では金属AMに適した球形度の高い、すなわち流動性と充填性の高い粉末を提供することを目的として、ガスアトマイズ条件の最適化及び顧客要求に応じてアトマイズ後のポストプロセスも採用している。図1に当社で導入しているサテライト粒子除去工程の模式図を示す⁵⁾。サテライト粒子は球形粉末に付着している数ミクロンレベルの微細な粉末であり、粉体の流動性を大きく損なうため、除去することが望ましい。当社が取り入れているサテライト粒子除去工程は、空気流によって金属粉末を加速した後、金属粉末同士及び金属粉末と流路壁面との衝突によりサテライト粒子を分離する構造となっている。その後、分散された粉末に環状空気流を付与することで、慣性の大きな粗大粒子（粗粉）は遠心力により、慣性の小さな微細粒子（微粉）は抗力により分級され、目的とする粒度領域の粉末を得ることが可能となる。

図2に海外製粉末と当社粉末の粉体特性の比較例を示す。当社材はガスアトマイズ条件を最適化することにより、アトマイズままにおいても海外材と比較してサテライトは少なく、その結果、球形度と流動度ともに海外材よりも優位であることが分かる。サテライト除去工程を施すことにより、さらに球形度と流動度は改善しており、顧客要求、造形装置仕様に応じた工程設計が可能となっている。

表1 「NOVASHAPE®シリーズ」の合金一例

Fe基

	特 長	組 成	用 途
PSS316L	高耐食性	Fe-17Cr-12Ni-Mo	耐食部品
PSS630	高耐食・高強度	Fe-17Cr-4Ni-Cu	耐食部品・耐食金型
QM300	高強度・高靱性	Fe-18Ni-5Mo-9Co-ALTi	金型

Ni基

	特 長	組 成	用 途
Alloy C276	超耐食性	Ni-16Cr-16Mo-5Fe-4W	耐食部品
Alloy X	耐酸化性・高温強度	Ni-22Cr-18Fe-9Mo-CoW	高温部材
PI718	高温強度・高耐食	Ni-20Cr-3Mo-5Nb-FeTiAl	タービン・航空機部材
PI625	高耐食性	Ni-22Cr-9Mo-4Nb	耐食部品

Co基

	特 長	組 成	用 途
PS21	高耐食性・高強度	Co-27Cr-3Ni-5Mo	耐食耐熱部品
CoCrMo	高耐食性・高疲労強度	Co-29Cr-6Mo	人工骨等

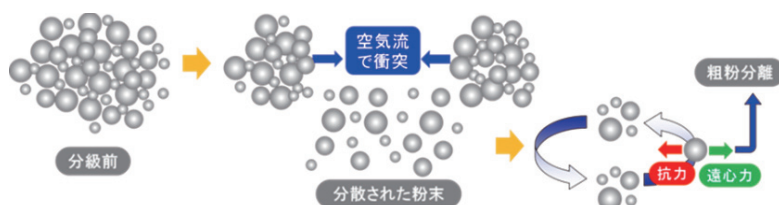


図1 サテライト除去工程の模式図⁵⁾

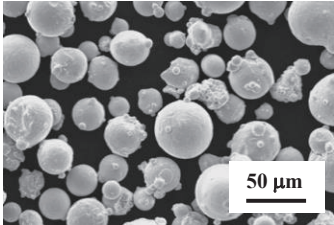
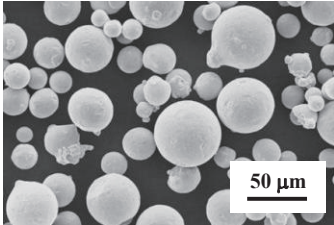
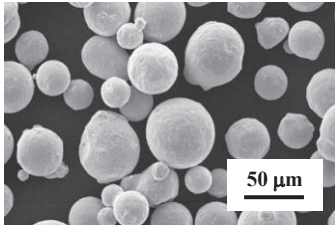
	海外材	当社材 (サテライト除去工程なし)	当社材 (サテライト除去工程あり)
外観			
球形度	0.85~0.89	0.89~0.91	0.91~0.93
流動度 (s/50g)	16.5~17.5	15.5~16.5	14.5~15.5

図2 海外製粉末と当社粉末の粉体特性の比較⁵⁾

3. AM用開発鋼「Cu合金粉末」⁵⁾

Cuは水冷管、ヒートシンク等、複雑形状で使用する場合が多く、各種アプリケーションでAM適用の期待が大きくなっている。しかしながら、現行のファイバレーザ（波長：約1060nm）を搭載した造形機では、高熱伝導率、高光反射率のCuに対して溶融に必要な熱を与えることができず造形が困難とされている。当社では、従来のファイバレーザを用いたAM造形機においても高密度な造形体を作製でき、最終造形物において電気や熱の導伝性を損わないCu合金粉末を開発した。

本製品の開発に当たっては、ガスアトマイズ法が有する特徴を活用できる点に着目した。本法は溶融した金属を高圧ガスで急速に凝固できるため、Cuへの固溶限が小さい合金元素でもCuマトリクス内に過飽和に固溶できると考えられる。合金元素が多量に固溶することでCuの導電率は低下し、その結果レーザー吸収率が大きく向上することにより造形性が改善すると考えられる。造形後は、熱処理により過飽和に固溶した合金元素をCuのマトリクスから排出することで導電性と熱伝導性が純Cuに近いレベルに回復し、かつ排出された化合物による析出強化も期待できる。

以上のコンセプトのもと、AMに最適な合金元素とその

配合量を検討した結果、高いレーザー吸収率を有し、造形後の熱処理で純Cuに準ずる優れた導電性・熱伝導性と純Cu以上の強度を引き出せる合金としてCuZrを見出した。

図3に CuZr合金造形体の1073 K時効処理後における相対密度、導電率、引張強さとZr量の関係を示す。相対密度はZr量に伴って増加し、Zr=1.6%で相対密度が99.9%まで緻密化することが分かった。

これは、CuZr合金のアトマイズ粉末において、ZrがCuマトリクス中に強制固溶されていることによりレーザー吸収率が改善すると同時に、粉末間の熱伝導性が抑制された効果と考えられる。一方、造形体の導電性は、Zr=0.8%まではZr量に伴って増加し、0.8%以降はZr量に伴い低減した。造形体の導電性がこのような挙動を取る理由として下記が考えられる。すなわち、Zr=0.8%までは相対密度の増加により、導電パスの総体積が増大するため導電率が増加する。一方、Zr=0.8%以上では相対密度はほぼ100%となっているため、高密度化による導電パス増大の効果が飽和し、時効処理によるCuZr化合物析出による影響で、導電パスが阻害されることにより導電率が減少したと考えられる。

また、引張強さについてはZr量に伴って増加した。これは、Zr量の増加に伴う相対密度の向上と化合物による析出強化の両方の効果と考えられる。

以上、当社で開発したCuZr合金はZrの添加量に応じて、密度、導電率(熱伝導率)、強度を制御することが可能であり、用途に応じて最適な粉末を提供することができる。

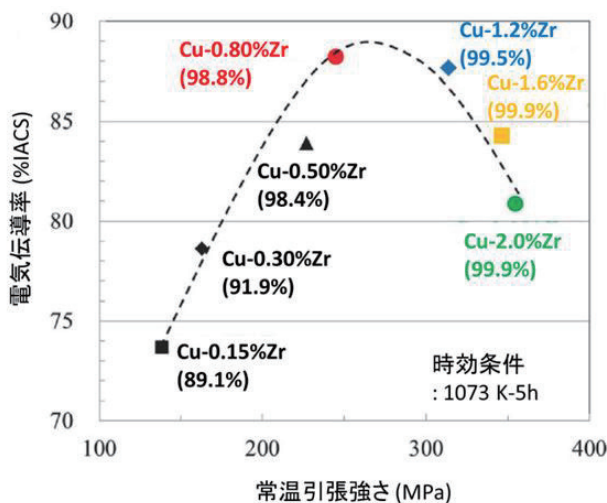


図3 CuZr合金造形体の時効処理後における引張強さ、導電率、相対密度とZr量の関係(図中カッコ内は相対密度を示す)

4. ダイカスト金型向けAM用粉末「S-MEC®シリーズ」⁴⁾

近年、複雑形状を有するダイカスト金型へのAMの適用が進んでいる。AMにより作製したダイカスト金型では、

三次元形状の水冷管を配置し、金型の冷却能を向上させることで製造サイクルの短縮が可能となる。

従来のダイカスト金型には、SKD61 溶製材が多く使用されてきたが、急凝固プロセスであるAMにおいては、造形時に焼入れが起こるため、焼入硬さが高いSKD61 (54 HRC) は、冷却時に発生する熱応力により造形割れが発生しやすい問題があった。そのため、AMを使用したダイカスト金型には、極低炭素鋼であり造形状態での硬さが低く、造形後の時効処理により硬さを確保できるマルエージング鋼が用いられてきた。しかしながら、マルエージング鋼はSKD61と比較してNiやCoなど固溶元素を多く含むため、金型の冷却能に影響する熱伝導率が低いといった課題があった。

S-MEC®シリーズは上記トレードオフを解消するために開発したAM専用鋼種である。図4に開発鋼の造形性と熱伝導率の位置付けを示す。S-MEC®40D、S-MEC®34DはSKD61をベース成分としている。AMにおいては造形時にレーザーが照射される領域ごとに急凝固されるため、大型金型であってもAM終了時点で局所的に焼入れが完了したバルク体となる可能性に着目した。これまで焼入れ性を確保するために添加していた元素を低減し、AM用として最適な成分に調整した結果、造形時の硬化による割れが抑制され、同時に熱伝導率の向上がはかれている。例えば、S-MEC®34Dを使用することで、φ180 mmの造形物を作製できることを確認しており、今後さらに大型造形の可能性についても検討予定である。

一方、S-MEC®24Mは汎用のマルエージング鋼をベース成分としている。汎用のマルエージング鋼では、Laves相析出による脆化を避けるため多量に添加されたNi等を固溶させるための溶体化処理が必要であり、合金元素の添加が熱伝導率を低下させる原因となっている。しかしAM材においては急冷効果によって過度にNiを添加しなくとも溶体化の効果が得られると考えた。この考えに基づき、合金元素量を調整することによって熱伝導率を向上させることが可能になった。

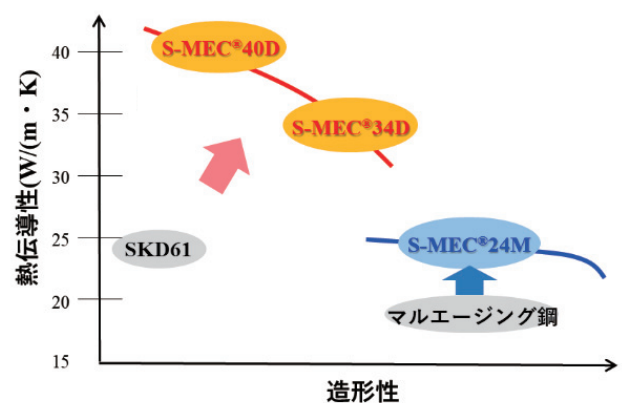


図4 ダイカスト金型用AM粉末の位置づけ

5. おわりに

本報では、当社「NOVASHAPE®シリーズ」の主な特徴と製品ラインナップについて紹介した。併せて、AM用として当社独自鋼種である造形性に優れたCu合金粉末、高熱伝導を特徴とする金型用粉末S-MECシリーズについて技術的観点から解説した。

参考文献

- 1) 柳谷彰彦：特殊鋼, 65-4(2016), 2-5.
- 2) 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構：金属積層造形技術入門, 10
- 3) 竹澤晃弘：日本機械学会誌, 117-1151(2014), 697.
- 4) 柳本勝, 相川芳和：AMフューチャー, 117-1151(2014), 697.
- 5) 相川芳和：山陽特殊製鋼技報, 28-1(2021), 54-59.