

# 3D積層造形用Coレスマルエージング鋼粉末

Co-free maraging steel powder for additive manufacturing

## 1. はじめに

金属3D造形は複雑形状の部品や金型等を効率的に製造する画期的な次世代技術として、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。3D造形に使用される金属粉末には、①造形装置内でのスムーズな搬送が可能な高い流動性、②高密度に敷き詰めることが可能な高い充填性、③溶融・凝固時のガス放出が少ない低い不純物レベル、等が求められる。このような市場要求に対して、当社のガスアトマイズ粉末は高い球形度を有していることに加えて、低酸素であること、様々な合金の提供が可能であるといった特長を有しており<sup>1)</sup>、3D造形市場でも優位性を発揮できる。

金型用途に用いられるマルエージング鋼（当社材:QM300（18%Ni型 強度2050 MPa相当））は、極低炭素の高Ni系マルテンサイトに時効硬化元素を添加し、マルテンサイト地で時効硬化する合金である。すなわち、マルテンサイト変態直後の強度（硬さ）は低いので靱性が高く、これを時効することで強化する。時効による強化機構は、主にNi<sub>3</sub>MoやNi<sub>3</sub>Ti、Ni<sub>3</sub>Alの析出準備段階あるいは極微細分散析出によると考えられている<sup>2) 3)</sup>。

このため、3D造形時にはクラック等の欠陥が発生しにくく健全な造形が可能であり、かつ3D造形後の熱処理によって所定の硬さが得られるため、比較的早い時期からマルエージング鋼を用いた3D造形手法が広く適用されている。

マルエージング鋼は極低炭素であるので、マルテンサイト変態を起こしやすくするためにNi等を多量に添加する必要がある。Mo及びTiも同様の効果があると報告されている<sup>4)</sup>。CoはMs点を上昇させると共に、Moの固溶度を下げ

るためNi<sub>3</sub>Moの析出量を増加させる効果があると報告されている<sup>5)</sup>。

一方、特定化学物質障害予防規則等が改正され、2013年1月1日からコバルト及びその無機化合物に健康障害防止措置が義務づけられた。これによって、マルエージング鋼の製造・取扱い作業全般について、屋内作業場での発散抑制措置、局所排気装置の性能要件・点検・届出、除塵装置の設置が必要になった<sup>6)</sup>。

このような背景から、当社では、汎用マルエージング鋼（QM300）の特性を維持しつつ、特定化学物質であるCo添加を回避したCoレスマルエージング鋼を開発した。表1にCoレスマルエージング鋼粉末の組成を示す。強度を重視した鋼種（Ver-1）と、靱性を重視した鋼種（Ver-2）を開発し、ベースとなるQM300を含めて、用途に合わせた各種のマルエージング鋼の普及を期待している。以下に、Coレスマルエージング鋼粉末の特長を紹介する。

## 2. Coレスマルエージング鋼粉末の特長

表1の3組成（Coレスマルエージング鋼Ver-1、Ver-2及びQM300）の粉末を当社ガスアトマイズ炉で作製し、以下の特性を調査した。

### 2.1 粉末の特性

レーザー式の3Dプリンタ装置で一般的に使用されている粒度 -63/+10 $\mu$ mにて、3組成とも同様の外観、粒度分布及び流動度を示した。Coレスマルエージング鋼Ver-1を代表として、図1にSEM写真を、表2に粒度分布と流動度を示す。

表1 Coレスマルエージング鋼粉末の化学組成

(質量%)

合金名	特長	組成				
		Fe	Ni	Mo	Co	Al+Ti
Coレスマルエージング鋼 Ver-1	強度重視	Bal.	18	5	-	特許出願組成
Coレスマルエージング鋼 Ver-2	靱性重視	Bal.	18	5	-	特許出願組成
汎用マルエージング鋼 (QM300)	当社標準の マルエージング鋼粉末	Bal.	18	5	9	0.9
【参考】18Ni GradeC 溶製材 <sup>2)</sup>		Bal.	18~19	4.6~5.2	8.0~9.5	Al:0.05~0.15 Ti:0.55~0.80

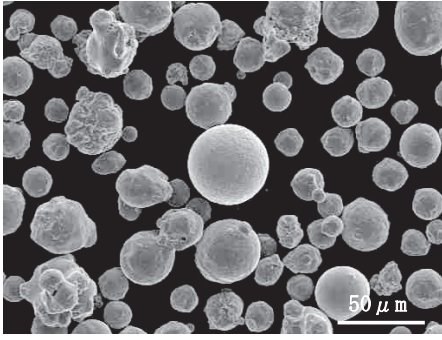


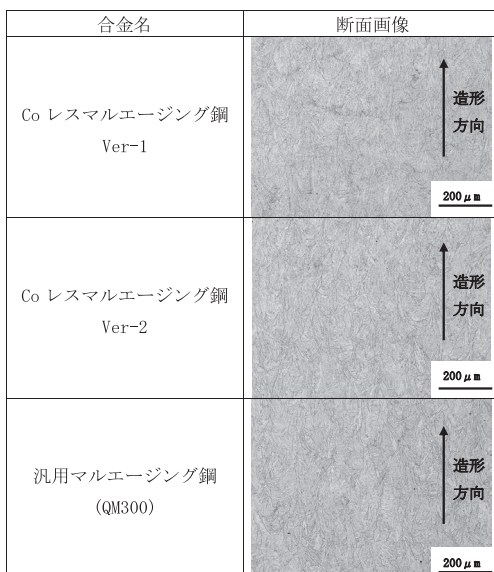
図1 Coレスマルエージング鋼Ver-1粉末のSEM写真

表2 Coレスマルエージング鋼Ver-1粉末の粒度分布と流動度

粒度分布			JIS 流動度 (秒/50g) JIS Z 2502:2012
D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)	
20~25	35~45	60~65	15~16

## 2.2 組織観察

Coレスマルエージング鋼Ver-1、Ver-2及びQM300粉末を3Dプリンタ (EOSINT M280) で造形 (造形条件:EOS推奨条件MS1) し、マルエージング鋼の標準の熱処理 (溶体化熱処理:800℃×1時間、空冷→時効熱処理:480℃×3時間、空冷。以下、標準熱処理と記す。) を施した断面ミクロ組織を図2に示す。Coレスマルエージング鋼Ver-1、Ver-2及びQM300はいずれも断面の空孔が少なく、高密度で割れない良好な造形が出来ていることが分かる。また、いずれもマルテンサイト組織であることを確認した。



※熱処理条件  
溶体化熱処理:800℃×1時間(空冷)、時効熱処理:480℃×3時間(空冷)

図2 造形体の断面ミクロ組織

## 2.3 硬さ

Coレスマルエージング鋼Ver-1、Ver-2及びQM300の3D造形体における、造形まま (As) 及び標準熱処理後 (HT) の硬さを図3に示す。Coレスマルエージング鋼Ver-1、Ver-2及びQM300はいずれも、造形ままの35HRC前後である硬さが、熱処理後は50HRC前後まで上昇した。Coレスマルエージング鋼Ver-1ではQM300と同等以上の55HRCが得られた。

Co添加を回避することによりNi<sub>3</sub>Moの析出量が減少するものの、代替の強化相 (Ni<sub>3</sub>Ti及びNi<sub>3</sub>Al) を増加させることにより、QM300と同程度の硬さがCoレスマルエージング鋼にて得られたと考えられる。

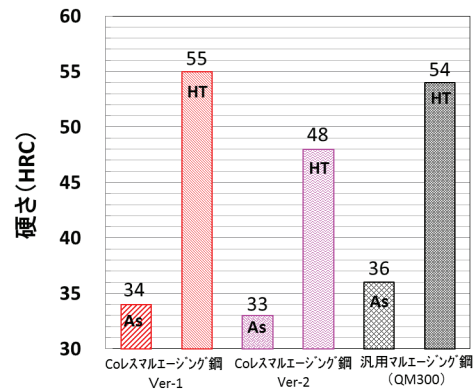


図3 熱処理前後の硬さ

## 2.4 常温での機械的特性

図4~6に標準熱処理を施したCoレスマルエージング鋼Ver-1、Ver-2及びQM300の引張強さ、0.2%耐力及びシャルピー衝撃値を示す。常温引張試験片 (JIS Z2241 14A号) は、造形方向と引張方向が平行になるように作製した。シャルピー衝撃試験片 (JIS Z2242 Vノッチ) は、造形方向と破断方向が垂直になるように作製した。

Coレスマルエージング鋼Ver-1は、QM300を上回る引張強さと0.2%耐力が得られた。一方、Coレスマルエージング鋼Ver-2は、QM300を上回る靱性 (シャルピー衝撃値) が得られた。

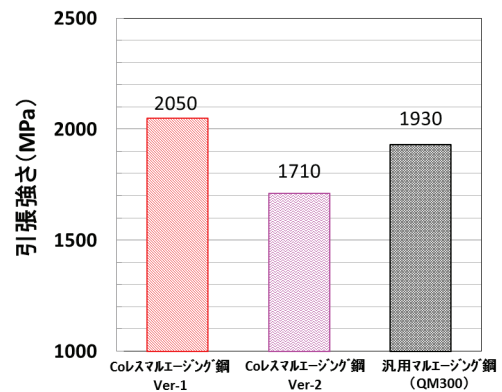


図4 常温での引張強さ

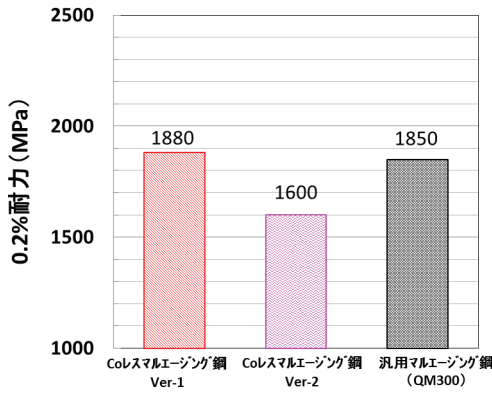


図5 常温での0.2%耐力

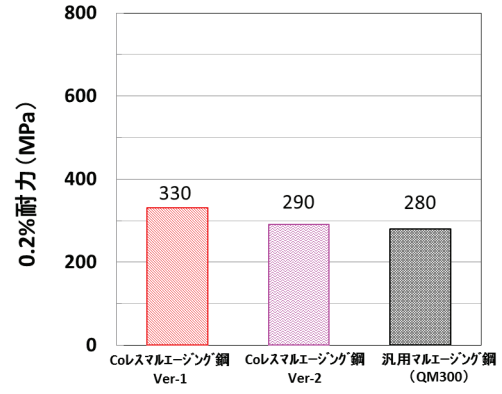


図8 高温 (649°C) での0.2%耐力

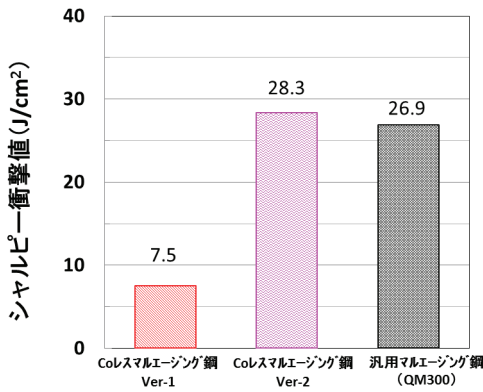


図6 シャルピー衝撃値

## 2.5 高温での機械的特性

図7、8に標準熱処理を施したCoレスマルエージング鋼Ver-1、Ver-2及びQM300の649°Cでの引張強さ、0.2%耐力を示す。高温引張試験片 (JIS G0567 A.5) は、造形方向と引張方向が平行になるように作製した。

Coレスマルエージング鋼Ver-1は、Coを含有するQM300よりも高強度を示しており、高温環境下での使用、例えば温間成形金型等でのへたり防止等が期待される。

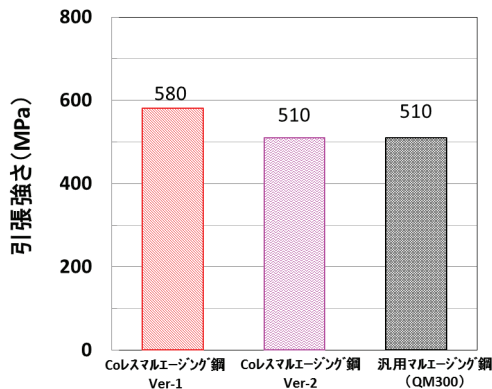


図7 高温 (649°C) での引張強さ

## 3. 期待される適用分野

開発したCoレスマルエージング鋼Ver-1及びVer-2は、QM300粉末を使用し難い環境下 (Coを取り扱う環境が整備されていない、あるいは健康上の理由によりCo含有鋼種の使用自体を避けたい等) において、3D造形体としてQM300同等以上の特性を発揮することが可能な鋼種であり、金型用途をはじめ幅広く使用されると期待している。

## 4. まとめ

当社粉末事業部はアトマイザー、3Dプリンタ装置2台 (EOSINT M280、M290) <sup>1)</sup> とX線CTスキャン装置 (Nikon製MCT225) <sup>7)</sup> を用いて、粉末製造、3D積層造形及び内部品質検証を一貫して行い、3Dプリンタに適した粉末の製品開発及び用途開発を進めている。

本報告のCoレスマルエージング鋼はその一例であり、QM300の特性を維持しつつ、特定化学物質であるCo添加を回避する新規合金を開発することにより、マルエージング鋼粉末を用いた金属3D造形手法が一層普及していくものと期待している。

## 参考文献

- 1) 久世哲嗣:山陽特殊製鋼技報,23 (2016) ,1,31-33.
- 2) ステンレス鋼便覧,日刊工業新聞社,III編 実用材料 5.6 マルエージング鋼, (1973) ,502.
- 3) 伊藤正和:特殊鋼,58 (2009) 2,4-5.
- 4) 鉄鋼材料の設計と理論,丸善, (1981) ,137.
- 5) 細見広次:鉄と鋼,74 (1988) 10, 2025-2032.
- 6) 厚生労働省ホームページ (<http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei48/index.html>)
- 7) 久世哲嗣:山陽特殊製鋼技報,24 (2017) ,1,59-61.