



# LaserForm Ti Gr23 (A)

3D Systems の DMP Flex 100, DMP Flex 200, DMP Flex350, DMP Factory 350, DMP Flex 350 Dual, DMP Factory 500, DMP Factory 350 Dual 金属 3D プリントでの使用を目的として綿密に調整されたチタン合金です。高い比強度と優れた生体適合性を兼ね備えた技術用途部品や医療用部品の製造が可能です。LaserForm Ti Gr23 (A) は、鉄、炭素、および酸素の含有率を低く抑えた ELI (Extra Low Interstitial) グレードであり、LaserForm Ti Gr5 (A) よりも純度が高いことを特長としています。その結果、延性および破壊靱性が向上しています。

LaserForm Ti Gr23 (A) は、最高レベルの部品品質と最適な部品特性を実現します。3D Systems が材料と一緒に提供するプリントパラメータデータベースは、長年にわたって 100 万個以上の難しい量産部品をプリントしてきたという他に例のないノウハウを持つ 3D Systems の部品生産施設で開発、テスト、および最適化されたものです。多数の試験サンプルに基づいた以下の特性により、複数のジョブ、複数のマシンにわたる高い再現性を実現します。LaserForm 材料を使用すれば、一貫した信頼できる部品品質が得られます。

## 材料の説明

このチタン合金は、強度が高く低密度であることに加え、生体適合性に優れているため、航空宇宙および医療アプリケーションで一般的に使用されています。Ti6Al4V ELI (グレード 23) と Ti6Al4V (グレード 5) との基本的な違いは、グレード 23 において酸素の含有量が 0.13% (最大) まで抑えられていることです。これにより、延性と破壊靱性が向上し、強度がいくらか低下しています。

これらの利点により、LaserForm TiGr23 (A) は医療用および航空宇宙用のチタングレードとして最もよく使用されています。この材料は、生体適合性を備えていることから、外科用インプラント、歯列矯正器具、人工関節置換術など、バイオメディカルアプリケーションに使用できます。

## 分類

LaserForm Ti Gr23 (A) 合金で製造された部品は、ASTM F3001、ASTM F3302、ISO 5832-3、ASTM F136、ASTM B348 規格に適合する化学組成を持ちます。

## 機械特性

DMP FLEX 350, DMP FACTORY 350 - LT 30, 60, 90 <sup>1, 4, 5, 6, 7</sup>	試験方法	メートル法		U.S.	
		SR <sup>3</sup>	HIP <sup>2</sup>	SR <sup>3</sup>	HIP <sup>2</sup>
最大引張強度 (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M				
		1060 ± 15	990 ± 25	154 ± 2	144 ± 4
		1060 ± 15	990 ± 30	154 ± 2	144 ± 4
降伏強度 Rp0.2% (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M				
		970 ± 15	890 ± 30	141 ± 2	129 ± 4
		960 ± 20	900 ± 50	139 ± 3	130 ± 7
塑性伸び (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M				
		15 ± 3	17 ± 3	15 ± 3	17 ± 3
		15 ± 2	17 ± 4	15 ± 2	17 ± 4
断面絞り (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M				
		40 ± 8	46 ± 9	40 ± 8	46 ± 9
		44 ± 7	48 ± 6	44 ± 7	48 ± 6
疲労強度 (MPa   ksi)	ASTM E466	通常 640	NA	通常 92	-

DMP FLEX 350 DUAL, DMP FACTORY 350 DUAL - LT 30, 60, 90 <sup>5, 7, 8</sup>	試験方法	メートル法		U.S.	
		SR <sup>2</sup>	HIP <sup>3</sup>	SR <sup>2</sup>	HIP <sup>3</sup>
最大引張強度 (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8				
		1045 ± 15	955 ± 20	152 ± 2	138 ± 3
		1040 ± 10	960 ± 20	152 ± 2	139 ± 3
降伏強度 Rp0.2% (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8				
		940 ± 20	845 ± 20	135 ± 3	123 ± 3
		950 ± 40	835 ± 20	137 ± 4	121 ± 3
塑性伸び (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8				
		19 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	17 ± 4
		19 ± 3	19 ± 3	18 ± 3	19 ± 3
断面絞り (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8				
		50 ± 10	45 ± 5	50 ± 10	45 ± 5
		50 ± 10	45 ± 5	50 ± 10	45 ± 5

<sup>1</sup> DMP Flex および Factory 350 の Config A で標準パラメータを使用して製造された部品

<sup>2</sup> 平均および信頼度 95% の 95% 許容区間に基づく値

<sup>3</sup> 限定されたデータセットに基づく値

<sup>4</sup> 丸型引張試験片タイプ 4 を使用し、ASTM E8M に従って試験した

<sup>5</sup> 丸型引張試験片タイプ 4 を使用し、ASTM E8 に従って試験した

<sup>6</sup> 制御された力による軸疲労試験 (R=0.1)、5x10<sup>6</sup> サイクルでの耐久限度。機械加工された表面の疲労サンプル。限られたサンプルに基づく値 (参考用)

<sup>7</sup> NHT: 非熱処理条件、SR: 応力除去条件、HIP: 熱間静水圧加圧条件

<sup>8</sup> DMP Flex および Factory 350 Dual の Config A で層厚 30 μm、60 μm、および 90 μm を使用して標準のパラメータで製造された部品

<sup>9</sup> DMP Factory 500 で層厚 60 μm (LT60) を使用して標準のパラメータで製造された部品

## 機械特性

DMP FACTORY 500 - LT 60 <sup>2,5,7,9</sup>	試験方法	メートル法		U.S.	
		NHT	SR	NHT	SR
最大引張強度 (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1310 ± 20 1290 ± 40	1060 ± 15 1060 ± 25	190 ± 3 187 ± 6	154 ± 2 154 ± 4
降伏強度 Rp0.2% (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1150 ± 20 1150 +30/-55	960 ± 15 950 ± 30	167 ± 3 167 +4/-8	139 ± 2 138 ± 4
塑性伸び (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	9 ± 3 11 ± 2	17 ± 2 18 ± 3	9 ± 3 11 ± 2	17 ± 2 18 ± 3
断面絞り (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	23 ± 11 32 ± 4	49 ± 5 52 ± 4	23 ± 11 32 ± 4	49 ± 5 52 ± 4

DMP FLEX 100 - LT30 <sup>4,7,10,11</sup>	試験方法	メートル法			U.S.		
		NHT	SR	HIP	NHT	SR	HIP
最大強度 (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	1310 ± 150 1280 ± 70	1060 ± 60 1040 ± 30	1020 ± 60 1020 ± 60	190 ± 22 186 ± 10	154 ± 9 151 ± 4	148 ± 9 148 ± 9
降伏強度 Rp0.2% (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	1130 ± 140 1070 ± 70	960 ± 40 930 ± 40	930 ± 60 930 ± 60	164 ± 20 155 ± 10	139 ± 6 135 ± 6	135 ± 9 135 ± 9
塑性伸び (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	8 ± 2 8 ± 2	12 ± 4 14 ± 4	14 ± 4 14 ± 4	8 ± 2 8 ± 2	12 ± 4 14 ± 4	14 ± 4 14 ± 4
断面絞り (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	35 ± 20 35 ± 10	50 ± 10 50 ± 10	40 ± 10 40 ± 10	35 ± 20 35 ± 10	50 ± 10 50 ± 10	40 ± 10 40 ± 10

DMP FLEX 200 - LT30 <sup>2,5,7,16</sup>	試験方法	メートル法		U.S.	
		SR		SR	
最大強度 (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1120 ± 40 1130 ± 55		162 ± 6 164 ± 8	
降伏強度 Rp0.2% (MPa   ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1025 ± 40 1040 ± 75		149 ± 6 151 ± 11	
塑性伸び (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	13 ± 4 15 ± 7		13 ± 4 15 ± 7	
断面絞り (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	30 ± 10 40 ± 25		30 ± 10 40 ± 25	

## 密度

測定	試験方法	メートル法	U.S.
理論密度 <sup>12</sup> (g/cm <sup>3</sup>   ポンド/インチ <sup>3</sup> )	値は文献に基づく	4.42	0.16
<b>DMP Flex 100</b>			
相対密度 (%), 層厚 30 μm <sup>10,13,14</sup>	光学的方法 (ピクセル数)	≥ 99.4 通常 99.9	≥ 99.4 通常 99.9
<b>DMP Flex 200</b>			
相対密度 (%), 層厚 30 μm <sup>13,14,16</sup>	光学的方法 (ピクセル数)	≥ 99.5 通常 99.9	≥ 99.5 通常 99.9
<b>DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500</b>			
相対密度 (%), 層厚 30 μm <sup>1,8,13,14</sup>	光学的方法 (ピクセル数)	≥ 99.6 通常 99.8	≥ 99.6 通常 99.8
相対密度 (%), 層厚 60 μm <sup>1,8,9,13,14</sup>	光学的方法 (ピクセル数)	≥ 99.6 通常 99.8	≥ 99.6 通常 99.8
相対密度 (%), 層厚 90 μm <sup>8,13,14</sup>	光学的方法 (ピクセル数)	≥ 99.6 通常 99.8	≥ 99.6 通常 99.8

<sup>10</sup> DMP Flex 100 で層厚 30 μm (LT30) を使用して標準のパラメータで製造された部品

<sup>11</sup> 平均および二重標準偏差に基づく値

<sup>12</sup> 値は文献に基づく

<sup>13</sup> 部品の形状によって異なる

<sup>14</sup> 信頼度 95% の 95% 許容区間に基づく最小値 (典型的密度試験形状による試験)

<sup>15</sup> プリントしたままの状態で作られた結果

<sup>16</sup> DMP Flex 200 で層厚 30 μm (LT30) を使用して標準のパラメータで製造された部品

<sup>17</sup> 造形方向に沿った垂直側面の測定

<sup>18</sup> ジルコニアプラスト媒体を使用して 5 パールで行った表面処理

## 表面粗さ $R_a$

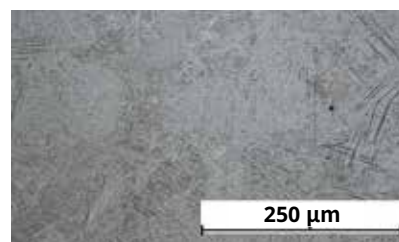
測定 <sup>13</sup>	試験方法	メートル法	U.S.
<b>DMP Flex 100, DMP Flex 200<sup>10, 15, 16, 17</sup></b>			
垂直側面 ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) 層厚 30 $\mu\text{m}$	NF EN ISO 4288	通常 9	通常 354
<b>DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500<sup>17, 18</sup></b>			
垂直側面 ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>1, 8</sup> 層厚 30 $\mu\text{m}$	ISO 25178	通常 7	通常 276
垂直側面 ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>1, 8</sup> 層厚 60 $\mu\text{m}$	ISO 25178	通常 9	通常 354
垂直側面 ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>8</sup> 層厚 90 $\mu\text{m}$	ISO 25178	通常 10	通常 394

## 電気的特性および熱特性

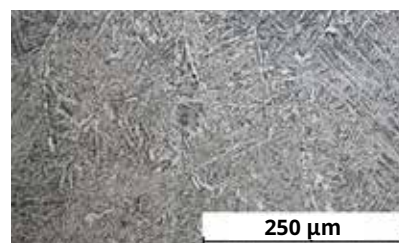
測定	条件	メートル法	U.S.
電気伝導性 <sup>3</sup> ( $S/\text{m}$ ) [ $\times 10^5$ ]	4点接触の ASTM B193 (20°C   68°F)	5.9 ± 0.1	5.9 ± 0.1
熱伝導率 <sup>12</sup> ( $W/(\text{m}\cdot\text{K})$   $\text{BTU インチ}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})$ )	@ 20°C   68 °F	6.70	46.5
熱膨張率 <sup>12</sup> ( $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$   $\mu$ インチ/(インチ · °F))	20 ~ 100 °C の範囲	8.6	4.8
溶融範囲 <sup>12</sup> (°C   °F)		1604 ~ 1660	2919 ~ 3020

## 化学成分

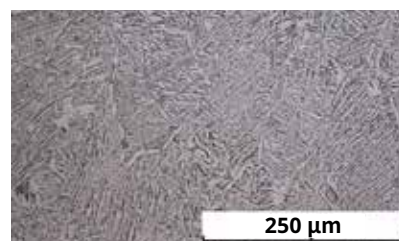
化学成分	重量 %
Ti	残部
N	≤0.03
C	≤0.08
H	≤0.012
Fe	≤0.25
O	≤0.13
Al	5.50 ~ 6.50
V	3.50-4.50
Y	≤0.005
その他 (1 要素あたり)	≤ 0.10
その他 (合計)	≤ 0.40



熱処理 (NHT) なしの微細構造



応力除去処理 (SR) 後の微細構造



熱間静水圧加圧 (HIP) 後の微細構造

## 化学組成要件 (重量 %) <sup>A</sup>

材料	炭素 (最大値)	酸素 (最大値)	窒素 (最大値)	水素 (最大値)	鉄 (最大値)	アルミニウム	バナジウム (最大値)	イットリウム (最大値)	その他の元素 (最大値、単独) <sup>B</sup>	その他の元素 (最大値、合計) <sup>B</sup>
CP <sup>C</sup> Ti	0.08	0.35	0.05	0.015	0.30	—	—	—	0.10	0.40
Ti-6Al-4V	0.08	0.20	0.05	0.015	0.30	5.50-6.75	3.50-4.50	0.005	0.10	0.40
Ti-6Al-4V ELI <sup>D</sup>	0.08	0.13	0.05	0.012	0.25	5.50 ~ 6.50	3.50-4.50	0.005	0.10	0.40

<sup>A</sup> 差によるチタン含有率の測定や認定は要求されていません。

<sup>B</sup> その他の元素は、濃度レベルが単独で 0.1%、または合計で 0.4% を超えない限り、報告する必要はありません。その他の元素を意図的に付加することは避けてください。チタン合金には、製造プロセスに起因する他の元素が少量存在する可能性があります。チタンの場合、一般的に含まれる可能性がある元素は、スズ、クロム、モリブデン、ニオブ、ジルコニウム、ハフニウム、ビスマス、ルテニウム、パラジウム、銅、ケイ素、コバルト、タンタル、ニッケル、ホウ素、マンガン、タングステンです。

<sup>C</sup> この標準における CP (Commercially Pure) チタンは、UNS R50550 またはグレード 3 チタンに似ています。

<sup>D</sup> ELI (Extra Low Interstitial) とは、材料性能に影響を与えることが知られている元素に関する、オリジナルの Ti-6Al-4V 合金からの化学組成の制限を示します。