

国立天文台先端技術センターにおける積層造形技術立ち上げ進捗報告①

造形熱ひずみについて

○三ツ井健司、金子慶子、神澤富雄（国立天文台先端技術センター）

概要(Abstract)

先端技術センターでは 2019 年度に金属 3D プリンターを導入し、現在は初期立ち上げ段階である。これは金属粉末の任意の部分をレーザー照射により溶解、固着させ、それを積層させることで目標の形状を作り出す装置であるが、一般的な工作機械とは製作工程が異なるため、製品にも違った特徴がある。今回はそのうちの一つの熱ひずみに着目した。積層造形では短時間で大きな温度変化のサイクルを繰り返すため、造形された製品内部に熱ひずみをため込んでしまうという特徴がある。今回はその熱ひずみを除去、軽減するためのアニールについて、いくつかの条件にて実験を行ったので報告する。

1. 造形装置の紹介

- ・ 3D printer 装置本体： EOS M290
- ・ メーカー/日本販売代理店： Electro Optical System (EOS), Germany / NTT data XAM technologies
- ・ 造形タイプ： Selective Laser Melting(SLM)/Powder Bed Fusion (PBF) type
- ・ 最大加工領域： 250×250×325 [mm]
- ・ 積層ピッチ： 20-60[um]（材料に依存）
- ・ レーザータイプ / 出力： Yb-fiber laser / 400[W]
- ・ 使用可能な材料： **Al**, SUS, CoCr, **Ti**, Ni, Maraging（赤字が導入済み）
- ・ 使用可能な雰囲気： **Ar**, N2（赤字が導入済み）

2. 実験

1) 実験の目的

金属積層造形では短時間の内に熔融と凝固を繰り返すため、出来上がった製品には大きな内部応力がたまりやすいという特徴がある。内部応力軽減のためにベースプレートを予め昇温してから造形工程に入るが、それでも造形後の除歪は必要である。

この除歪の条件を振ってそれぞれの効果がどの程度であるかを検証することが目的である。

2) 実験の内容

- ・ 初期実験：後述する造形サンプルを 1 セットまたは 2 セット造形し、造形後の処理として、アニール無し、200℃、300℃のそれぞれで比較した。
- ・ 追加実験：造形サンプルを 1 方向のみに変更し、一回の造形において 4 か所同時に造形した。その後、それぞれの造形場所でアニール無しと有りとで比較した。



図-1 3D printer 装置本体： EOS M290

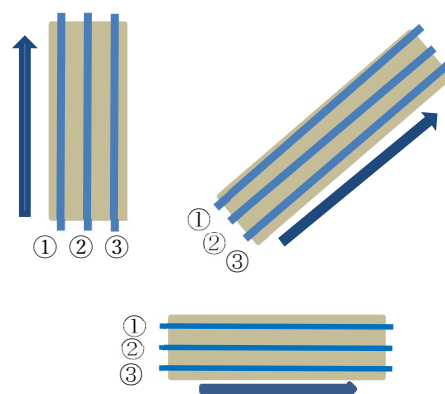


図-3 測定方向

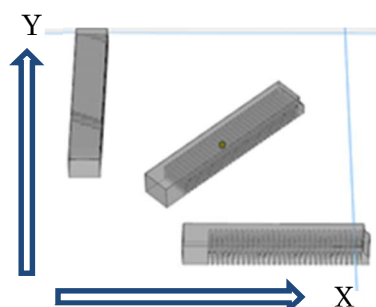


図-2.1 造形サンプル 1セット

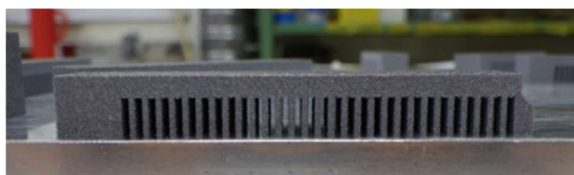


図-2.3 造形後そのまま

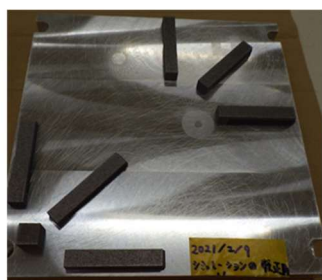


図-2.2 造形サンプル 2セット



図-2.4 櫛歯の部分を切断

図-2 造形サンプル

3. 初期実験

1) 造形サンプル

測定用サンプルは平板の下に櫛歯状の足を持つ形状をしており、X 方向、Y 方向、45° の三方向で1セットである。造形終了時、上面はフラットであるが、櫛歯の部分を切断すると内部のひずみが解放され反る。この反り量にどのような変化があるかを調べた。(図-2 参照)

2) 造形条件

造形とアニールの条件を表-1 に示す。造形位置は 2 セット同時造形の場合は左下と右上、単体なら中央に配置し、アニールは 200℃または 300℃に昇温後、4 時間保持したのち炉冷した。

3) 反り測定

反り量は造形直後と櫛歯切断後(反った状態)それぞれにおいて測定し、それぞれの差分をとることと求めた。使用した測定器は三鷹光器 NH-3SP である。各サンプルについて図-3 のように 3 ライン測定し、平均を求め、セット全体での平均も求めた。図-4 に断面測定の抜粋を示す。

4) 測定結果①

測定結果を表-2 にまとめた。各セットにおけるそれぞれの向きでの平均値とセット全体での平均値である。

4) 初期実験のまとめ

造形場所によって反り量は異なり、左下（セット A,E,H）の方が右上（セット B,F,I）よりも反りが大きい傾向がある。

- ・造形方向では 45°、X、Y の順に反りが大きくなる。
- ・200℃アニールでは反り量が 45～65%程度まで減少する。
- ・300℃アニールでは反り量が 20 μ m 程度まで減少し、反りの方向が反転する。

表-1 造形条件

No	セット	位置	アニール
1	A	左下	なし
	B	右上	
2	C	中央	なし
3	D	中央	200℃ 4h
4	E	左下	なし
	F	右上	
5	G	中央	300℃ 4h
6	H	左下	200℃ 4h
	I	右上	
7	J	左下	300℃ 4h
	K	右上	

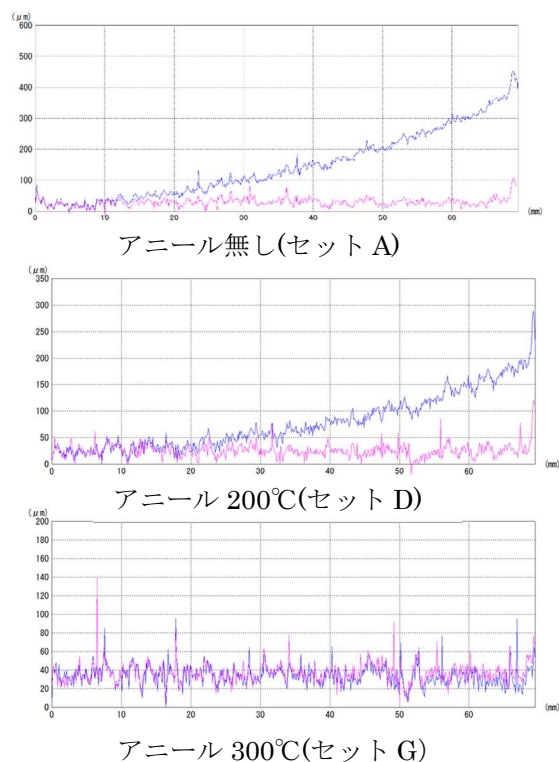


図-4 断面測定結果の抜粋

（櫛歯切断前：ピンク、 櫛歯切断後：青）

4. 追加実験

1) 目的

初期実験を受けて 200℃と 300℃で大きな違いがあることが分かった。200～300℃間の臨界を調査するため追加で実験を行った。

2) 変更点

- ・造形サンプルは初期実験で一番反りの大きかった Y 方向の一つのみ
- ・4つの位置で造形（図-5 参照）
- ・それぞれの位置でアニール無しと有りの 2 回造形し、両者を比較した。

3) 測定結果

反り測定の結果は図-5 に示す。

4) 追加実験のまとめ

アニール無しの状態では、装置に向かって右手前から左奥に向けて反り量が大きくなっており、

左手前と右奥は同程度だった。また、それぞれの位置でのばらつきは3%程度であるが、これは初期実験の結果と異なるため、造形場所による反り量の違いは必ずしも再現するわけではないと思われる。

今回の実験では熱処理の有無での比較は以下の通りである。

- ・FL (220℃、1.5 時間) 206→236μm 115%
- ・FR (250℃、4.0 時間) 202→141μm 70%
- ・BL (270℃、1.5 時間) 214→131μm 61%
- ・BR (300℃、1.5 時間) 211→ -17μm -8%

5. まとめ

三次元金属造形により作成したサンプルにいくつかの条件でのアニールを施し、その特性を確認することができた。詳細は前述のとおりである。

表-2 測定結果①

No	セット	X	45°	Y	平均	アニール
1	A	338	282	445	355	なし
	B	227	226	365	273	
2	C	272	226	368	289	なし
3	D	174	166	220	187	200℃
4	E	355	265	471	364	なし
	F	235	246	381	287	

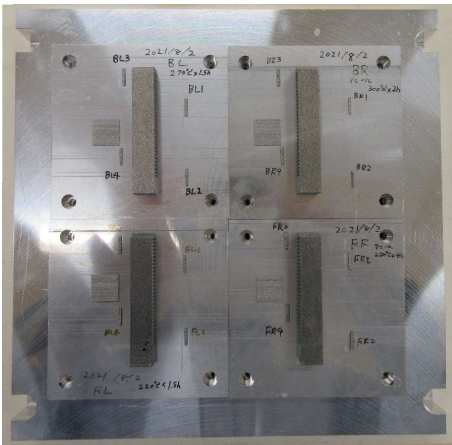
No	セット	X	45°	Y	平均	アニール
5	G	-16	-9	-11	-12	300℃
6	H	157	139	214	170	200℃
	I	100	116	160	125	
7	J	-19	-15	-23	-19	300℃
	K	-21	-21	-22	-21	

BL

アニール無し：214μm
270℃、1.5 時間保持：131μm
61%

FL

アニール無し：206μm
220℃、1.5 時間保持：236μm
115%



BR

アニール無し：211μm
300℃、1.5 時間保持:-17μm
-8%

FR

アニール無し：202μm
250℃、4.0 時間保持：141μm
70%

図-5 追加実験造形サンプル
アニール条件と反りの結果