

国立天文台での積層造形の紹介

○三ツ井健司^{#,A)}

A)自然科学研究機構 国立天文台

概要

2019年度に国立天文台では積層造形機、いわゆる金属3Dプリンタを導入した。これまで運用してきた中で知り得た積層造形についての特徴や性質、また、電波望遠鏡用の部品をはじめ天文台にて挑戦してきた事例について紹介する。

1. 積層造形

1.1 装置概要

天文台にて導入した積層造形装置はドイツに本社を置くEOS社のM290である。造形方式はパウダーベットフュージョン(PBF)と呼ばれる方式で、粉末材料を薄く敷き詰め、レーザー照射により必要な部分の材料を熔融させ、断面ごとに積み上げるように造形していく。その諸元は以下の表1の通りである。

積層造形装置には多くの付帯設備が必要である。造形中に本体駆動を補助するエア供給装置類に始まり、粉末再利用のための装置一式、後処理用の装置一式と多岐にわたっている。

表1. 造形装置の仕様

機種	EOS M290
メーカー/ 日本代理店	Electro Optical System(EOS), Germany / NTT data XAM technologies
造形方式	Selective Laser Melting(SLM)/ Powder Bed Fusion (PBF) type
最大サイズ	250x250x325 [mm]
Layer Pitch	20-60[um] (材料に依存)
Laser type/ Power	Yb-fiber laser / 400[W]
対応材料	Al, SUS, CoCr, Ti, Ni, Maraging (Al, Ti を導入)
造形雰囲気	Ar, N2 (Ar を導入)

1.2 造形作業手順

積層造形装置は、3Dモデルから断面データを作り所定の形状に造形する装置であるが、そのための作業は思いのほか手作業が多いということが装置を導入したことにより判明した。特に粉末の材料を扱うため、粉末を飛散させないための手順がマニュアル化されているところが印象的である。

まず材料を準備する。開封済みの材料やリサイクルのものは専用装置で乾燥させた後、装置本体に充填する。

次に製品の土台となるベースプレートをセットし水平合わせと高さ合わせを行う。

その後、データや本体設定などの準備が終われば、造形開始となるが、この造形中だけが自動である。

造形が終了すると、溶かされなかった粉末に埋まった形で製品が完成する。そこからまわりの粉末を専用の回収機で吸い出し、製品を掘り起こしていく。回収された粉末はふるいにかけてリサイクルへ回す。取り出した製品はワイヤーコンターマシンにてベースプレートから切り離し、必要に応じてショットブラストなどの二次加工へと回す。

その後、装置本体は徹底的に清掃し次の造形に備える。半端に溶けるなどリサイクルできない粉末は産廃として廃棄する。

2. 作品紹介

2.1 ALMA Band1 コルゲートホーン

国立天文台での積層造形として最初の製作目標はALMA Band1 コルゲートホーンであった。

ALMA望遠鏡(図1)は東アジア、北米、欧州の国際協力によって南米チリの標高5000mの高地で運用されている巨大な電波望遠鏡である。合計66台のアンテナから成り、それぞれ1~10のBand(周波数帯)の受信機を持っている。そのうちのBand1受信機(図2)に使われているコルゲートホーンの製作および一部量産に挑戦した。



図1. ALMA望遠鏡

コルゲートホーンは円錐形の穴の内面に同心円状の溝を多数切り込んだ形状をしている(図3)。内部的な構造を持つため切削加工においても難しい形状である。これを積層造形で挑戦した。切削加工を前提に設計されているため、積層造形を意識した形状とは言えず、挑戦的な製作物であった。

積層造形の特徴の一つとして、サポートが挙げられる(図4)。サポートとは製品の姿勢や位置を支えるための支柱であると同時にレーザーによる熱を逃がすための経路でもある。このサポートを“いかにつけるか”、や“いかに減らすか”が製品の品質を左右する重要なポイントの一つである。

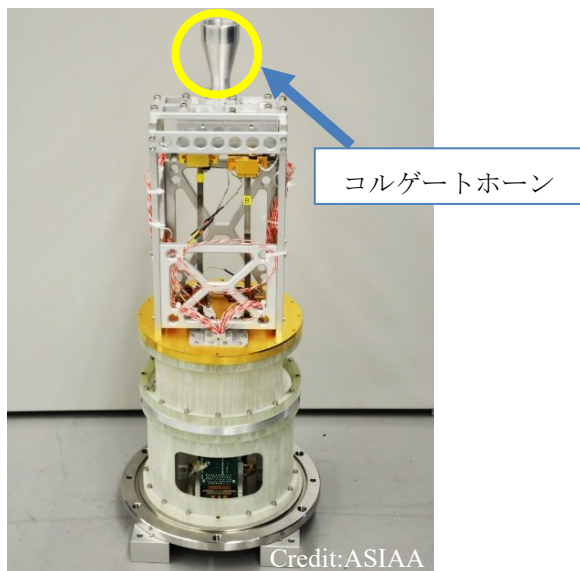


図2. Band1 受信機とコルゲートホーン

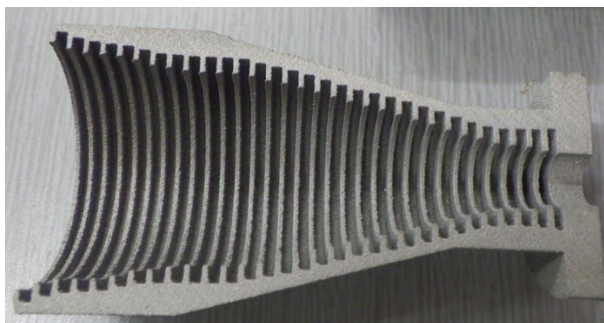


図3. Band1 コルゲートホーンの断面

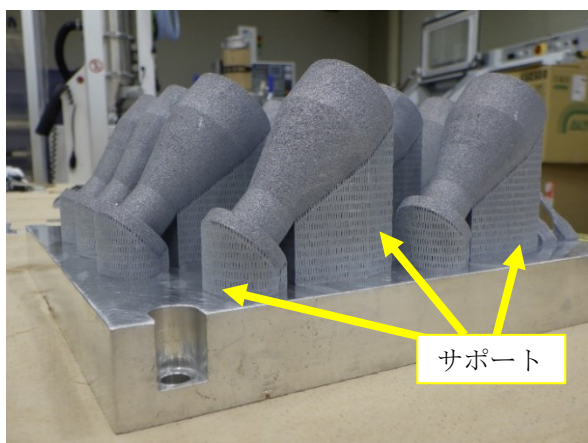


図4. Band1 コルゲートホーンとサポート

熱という側面も重要な要素である。積層造形では急激な加熱と冷却が常に繰り返されるため、熱ひずみがたまりやすい特徴がある。速やかな排熱が望ましいが、粉末の材料は熱を伝えづらい。サポートがその役を担っており多くつける事で排熱は進むが、サポート自身は余分な部品であり造形後に除去しなければならないことを考えると最小限に抑えたいという問題が生じてしまう。サポートの多寡は製品毎に検討することになる。さらに今回は、一層ごとに冷却の為の待ち時間を設けるという方法も合わせて活用した。この方法であれば必要以上にサポートを付加せずに十分に熱を逃がすことができる。もちろん、その分多くの時間を必要とするが、それでも1ロットで約10個の部品を同時に造形できるサイズであったので、大きな問題にはならなかった。

その他、細かな条件を調整し、量産の中でいくらかは不合格品がまじることは避けられなかったものの、最終的には仕様を満たす製品を作れるようになった。現在は受信機への組み込みは完了し望遠鏡への搭載に向け準備が進んでいる。

2.2 TOMO-E GOZEN 用フィルターホルダー

TOMO-E GOZEN は東京大学木曾観測所シュミット望遠鏡用の可視光観測装置である。この装置の検出器は望遠鏡の焦点面に合わせ全体として緩やかな曲面になっている。検出器の配置に合わせた曲面を持ったフィルターホルダーを積層造形により製作した。全体が4つの象限に分かれており、その一つ一つは我々の装置の最大造形サイズであった。図5は製作したフィルターホルダーを組み込んだ観測装置、図6は造形直後の製品である。

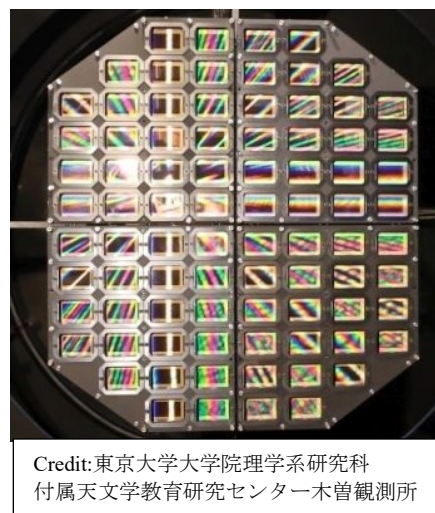


図5. 木曾シュミット望遠鏡フィルターホルダー

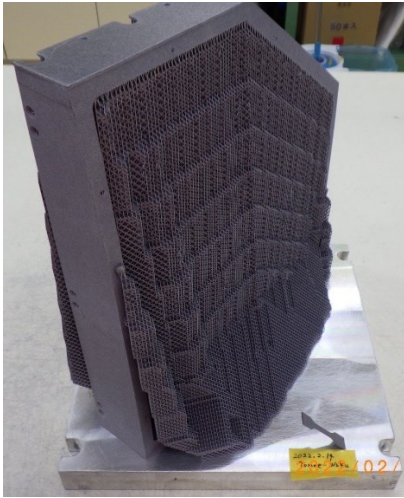


図6. フィルターホルダー 造形直後

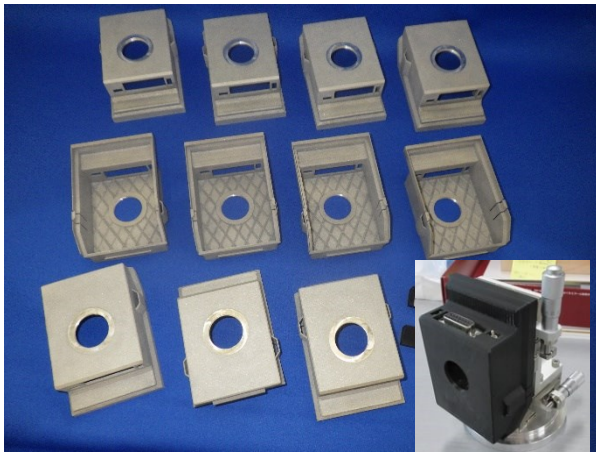


図7. KAGRA 回路基板カバー

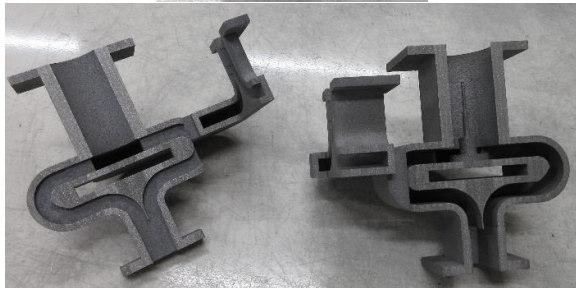


図8. ターンスタイル OMT
(上：完成品、下：内部構造)

2.3 その他の製作事例

図7は重力波望遠鏡（KAGRA）にて使用する回路基板用のカバーである。弾性レバー方式のロック機構も含めて一体で製作した。

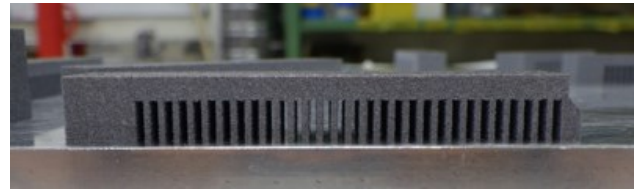
図8は外部より依頼の電波の偏波分離器（OMT）である。写真のように内部構造を持っており積層造形をうまく活用した例となった。

3. 積層造形の特徴

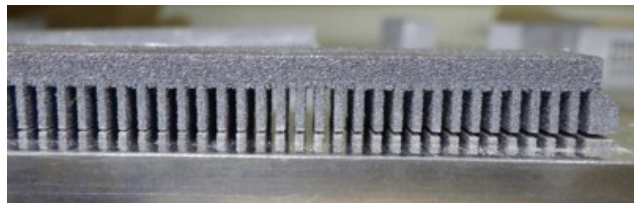
3.1 反り

積層造形はレーザーにより材料の溶融・凝固を繰り返すため、内部に熱ひずみがたまりやすいという特徴がある。

図9は、テスト用のサンプルである。造形終了時、上面はフラットであったが、その後、楕歯の部分を切断すると内部のひずみが解放され、全体として反りが発生した。



造形後そのまま



楕歯の部分を切断

図9. 反り試験サンプル

そこで、造形終了後にひずみを除去するアニールの試験を実施した。図10は断面測定の結果であるが、ピンクの線は造形終了後の断面、青の線は楕歯の切断後の断面である。アニール無しから 200℃、300℃ となるにつれて反りが軽減していることが分かる。ただし、アニールはかけすぎると強度が低下するため状況に合わせて選択していく必要がある。

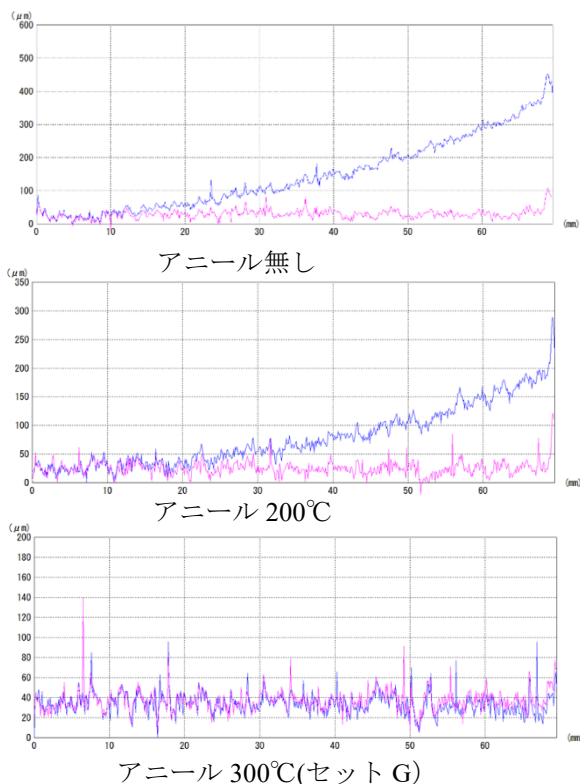


図 10. 反り試験結果

4. まとめ

国立天文台では2019年度に導入した金属3Dプリンタによって、いくつかの事例に挑戦してきた。

アルミ材料で一通りの製品を作れるようになったが、それぞれに合わせた工夫が必要であり、重要な経験を積むことができた。

熱ひずみや粉末の脱落など、気を付けなければならない点もあるが、より自由な形状に挑戦できるツールでもある。しかし、それを活かすためにはそれに適した設計が必要である。

3.2 表面処理

造形後の製品から材料粉末と思われる粉が落ちてくるといふ現象が見られた。これは特に造形したままの面に顕著であり、サンドブラストや化学処理を施すとその量は少なくなる。表面を機械加工したものに至っては見つけることができなかった。

図 11 はテストサンプルを15分超音波洗浄しその水を濾紙でこしたものである。超音波洗浄を10回以上繰り返しても粉の落下は無くならず、その原因はまだ解明に至っていない。しかし、単純な水のみでの洗浄ではなく、中性洗剤を利用した場合は十分に洗浄効果が見られ、粉の落下は無くなった。化学的な表面処理の模索は継続中である。

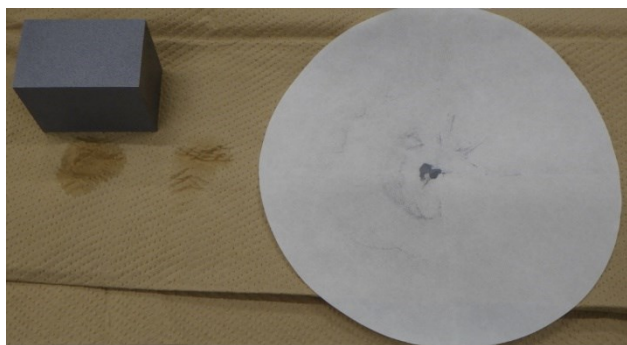


図 11. 表面処理サンプル