

金属 3Dprinter 立ち上げ進捗報告

○金子慶子、神澤富雄、三ツ井健司、福嶋美津広（国立天文台 先端技術センター）

概要 (Abstract)

近年、付加製造(Additive Manufacturing、以下 AM) は世界各国で飛躍的に発展をしてきている。AM を実現する装置である 3D プリンタは、それまでの切削加工による、材料を削りだして形状を生成する「引き算型」に対し、3D データを素に材料を積層する「足し算型」方式であり、切削加工とは異なるアプローチで形状を実現することができる。3D プリンタの種類としては、用いられる材料(樹脂、石膏、紙、金属、食品、バイオ等)、溶融源(ヒータ、光、レーザ、電子ビーム等)、動作方法(フィラメント溶融、粉末溶融凝固、直接噴霧等)などにより様々な種類のものが存在する。天文学に関する装置開発においては、観測装置の大型化、構成部品の複雑化が進み、より高度な設計製造技術が求められている。またプロジェクトの大規模化が進み、人的リソースの制約から開発の効率化も求められている。国立天文台各プロジェクトの装置開発に関わる先端技術センター(Advanced Technology Center, 以下 ATC) は、新しい技術である AM に着目し、アルマプロジェクトと協力して AM および 3D プリンタに関する調査を 2015 年度より進め、複数装置による具体的な試作製造評価進めた結果、より踏み込んだ検討のためには実機を所有し、内製を試みる必要があるという結論に至った。これをもとに、2019 年 8 月に装置を導入し、現在装置立ち上げ作業と、並行して初期製品製造を進めているところである。口頭発表では、導入装置の概要および装置運用を担当する ATC メカニカルエンジニアリングショップ(Mechanical Engineering Shop, 以下 ME ショップ)での現在の状況を報告した。本投稿はそれらに加え、装置導入のために ATC 内でおこなわれた準備作業等についても一連作業の記録として触れることとする。

1. 導入装置および設置場所概要

今回 ATC へ導入した装置は独 EOS 社製 M290 である。装置外観を図 1 に、仕様を表 1 に示す。400W Yb ファ이버レーザを造形ステージ上に薄層状に敷いた粉末材料に照射し、溶融凝固しながら積層するタイプの装置である。造形可能な材料の種類は鉄系、コバルト系、ニッケル系などがある。今回我々は、地上観測装置開発で最も頻繁に使用されるアルミ材料と、衛星機器に使用されることの多いチタン材料を初期材料として導入した。造形中の庫内雰囲気はアルゴンガスを使用する。



図 1. EOS M290 外観

表 1. M290 仕様

Machine Spec	
Machine	EOS M290
Manufacturer/ Japanese Agency	Electro Optical System (EOS), Germany / NTT data XAM technologies
Type of Method	Selective Laser Melting(SLM)/ Powder Bed Fusion (PBF) type
Max. Processing Size	250x250x325 [mm]
Layer Pitch	20-60[um] (*depends on material)
Laser type / Power	Yb-fiber laser / 400[W]
Usable Material	Al, SUS, CoCr, Ti, Ni, Maraging
Usable Gas in Chamber	Ar, N2

装置は開発棟 1 号館 1 階、旧光学実験室に設置した。M290 自体のサイズは、付帯するガス再循環フィルタシステムを含め必要面積約 3 x 3m 程度であるが、今回、設置環境として図 2 にあるように 13.0 x 6.8m の部屋を準備した。これは、本体運用のために必要なコンプレッサ、チラーだけでなく、材料を安全に搬送する運搬機器、粉末材料を再利用するための処理システム、造形した製品の後処理をするためのワイヤーカッターやブラスト装置、材料を保管するデシケータ等、多くの関連機器を設置する必要があったからである。また作業のために人が移動できる空間も必要なため、結果、運用を開始した現在ではこの部屋でも少々手狭に感じている。

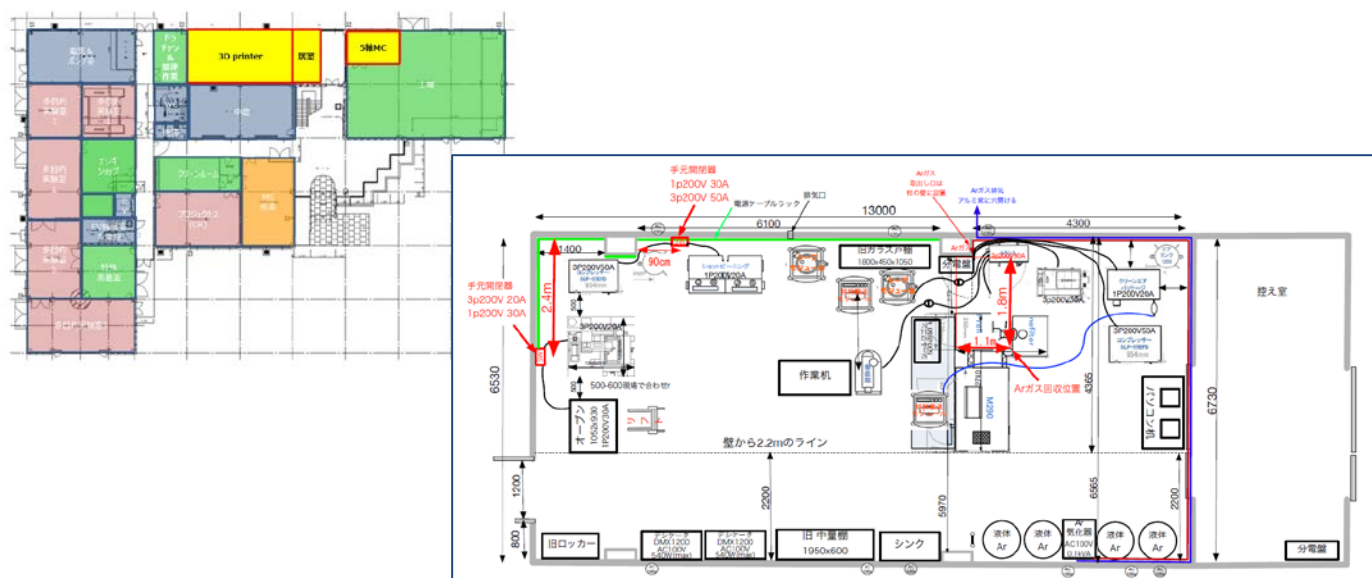


図 2. 開発棟 1 号館内装置設置場所(左上)と造形室内配置(右下)

2. 装置選択の背景 – 2016～2017 年度実施の基本調査–

3D プリンタが広く知れ渡るようになったのは 2010 年前後、欧州で所有されていた特許保護期間終了や米大統領一般教書演説の影響などにより、世界中でブームとなった。国立天文台でも、樹脂フィラメントを用いた装置が、広報用展示品造形や観測所での装置モックアップ造形用として取り入れられている。しかし観測機器への実用を目指すには金属造形装置が必要である。そして金属の装置は高額であり、本当に天文観測装置にとって有用かどうか未知数である。そこで、具体的に調査をするため、2016 年 1 月に ATC とアルマプロジェクトで協力してワーキンググループ形式のチームを発足し、調査することにした。調査方法としては、具体的な部品造形を複数社に依頼し、その依頼相談の中で装置と AM についての知識を深め、また製造したサンプルを評価して、この技術が天文観測機器開発に有用かどうか検討することとした。サンプルとしては、電波天文観測用部品の中から、あまり複雑すぎず、外形形状測定だけでなく部品としての性能評価までおこなうことを目指し、当時設計開発を進めていた 35-50GHz 帯コルゲートホーンを選択した。調査対象装置としては、レーザ照射粉末積層タイプ、電子ビーム照射粉末積層タイプ、バインダジェットタイプ、積層+切削ハイブリッドタイプのほか、シート積層の観点で拡散接合も含めた。本検討の詳細内容についてここで述べることは避けるが、結果として、以下に該当するものが天文観測機器開発へ有用な可能性があると判断された。

- ・造形はレーザ照射粉末積層タイプで実施し、必要に応じて 2 次加工として切削加工を別途行う

- ・レーザパラメータをユーザ側で操作できることで、造形条件を最適化できる可能性がある
- ・材料として、アルミ、チタン、ステンレス系の使用が可能である

これ以上の深い調査のためには、実際に装置を所有して自分たちで扱ってみなければわからない、というところで、この調査 WG は停止した。その後、実際に装置を導入する判断が天文台執行部より下されることとなった。

3. 導入準備

必要なことは、大きく 2 点あった。装置そのものの調達と設置場所の準備である。装置の調達に関しては、比較的大きな政府調達案件であるとはいえ、財務課調達係のハンドリングにより進められた。問題は設置場所準備である。なぜなら装置の調達が決定した時点で、装置の具体的な設置場所は未検討だったからである。設置環境条件として以下が挙げられた。

- ・装置の安定運用のため、建物 1 階であること
- ・床が外部振動を極力受けないこと
- ・温湿度管理が可能なこと
- ・造形雰囲気としてアルゴンを使用するため、アルゴンガス供給装置を室内に設置可能もしくは近くに設置可能なこと。それに伴う排気設備、安全配慮の空調設備を設けること
- ・必要電源供給が可能なこと
- ・粉末掃除機やワイヤーコンター設備に使用する水道水が供給されていること

1) 場所の確保

装置導入決定時点で、開発棟内で未使用な部屋がなかったため、ATC 運営委員会を中心に居室を含む 1,2 号館すべての部屋の利用状況の確認と、ちょうど利用開始され始めた 3 号館を含む可能性の検討をし、結果、光学実験室への設置が決定された。光学実験室利用者の実験環境を別に確保するため、最終的に開発棟 1,2 号館の大部分にわたる大幅配置換え、玉突き 4 段階となる大引越し大会が 2018 年 8-12 月の 4 か月にかけて実施された。ATC は天文台内外から共同利用を受け付けており、申込時の年度当初にはこのような話はまったくなく、突如決定されたこの居室と実験室移動は外部利用者だけでなく ATC 所属職員にとっても完全に青天の霹靂であった。にもかかわらずご協力いただいた皆様に深く感謝申し上げたい。

2) 設置準備工事

先に上げた条件を満たすために必要となった工事類は以下となる

- ・建築工事（壁、天井、床、扉）
- ・電源一次工事（変圧器増設、分電盤設置、照明、コンセント）
- ・電源二次工事（装置本体への電源接続および室内ケーブルとりまわし）
- ・空調工事（新設、既存空調移設）
- ・ガス工事（配管、ボンベステーション設置、初期駆動ガスボンベ設置）
- ・水道工事

装置設置場所に加え、同時進行していた工場への 5 軸マシニングセンター導入にともなう ME ショッ

ブ職員居室移動もあったため、工事は第 1 段階(居室側)と第 2 段階(造形室側)にわけられ、第 1 段階を 2019 年 1-3 月に、第 2 段階を 4-6 月に実施した。3 か月という短期間で計 6 社がひとつの部屋の工事をすることとなったため、工事開始前には施設課主導での全社顔合わせの機会を設け、工事日程の取り合い、内容の相互確認をおこなった。設置環境整備においては、室内設計から工事完了まで、約 1 年間にわたり施設課の皆様の多大なるご支援をいただいた。

3) 装置導入

装置導入の様子は、情報センター主導による動画が公開されているので、そちらを参照されたい。
搬入風景、装置に関する説明がわかりやすくまとめられている。

Youtube; <https://www.youtube.com/watch?v=OpluK48-1tU>

ニコニコ動画: <https://www.nicovideo.jp/watch/1588322403>

4. 現在の活動状況と今後の予定

発足時より現在まで、ATC ME ショップ AM チームは 3 名の構成員で運用をしている。造形装置の操作には、専門のトレーニングによる技術習得が必須であり、装置導入時点でこの 3 名が受講した。運用にあたっては、造形装置そのものの扱いだけでなく、全体の作業手順、材料粉末の取り扱い方、廃棄物処理の方法、安全管理、モデル生成のための 3D-CAD およびサポート生成専用ソフトの操作方法、付帯する周辺装置の取り扱い方など、非常に多くのことを学習する必要がある。また、造形そのものも、造形時のちょっとした配置の工夫やパラメータ変更により最終製品の完成度が変わるため、各種条件を試すことにより、「何をしたらどうなるか」を、ひとつひとつ体験しながら習得する必要がある。現在は、これらの基本技術習得をおこないつつ、造形品の物性確認を進めている。金属積層造形にあたっては、材料粉末をレーザの照射熱で一旦熔融させ再凝固させるため、物性確認は最終的に製品ごとに行う必要があり、立ち上げ期間である現在は、代表値となる一般物性の確認をおこなっている。具体的な物性評価結果については、初期造形製品開発に関する報告とあわせて別の機会におこなうこととする。

5. まとめ

本発表では、ATC を中心に進めてきた AM および 3D プリンタに関する初期調査と装置導入について報告した。装置導入から約半年後の 2020 年春からの新型コロナ感染拡大により出勤制限がされる中で、実作業を伴わざるを得ない立ち上げ作業が多少なりとも遅れたことは否めないが、一方世間では、マスクやフェイスガードなどが医療従事者に短期間で大量に提供されるといった、デザイン→試作のサイクルの早さという AM の特長を生かす事例も見られた。今後は、AM の特長を実際の天文観測装置へいかに応用するかの検討を進めつつ、AM に関してより広く深い知見の蓄積を目指す。

謝辞

基本調査から装置導入および立ち上げにおいて多大なるご協力をいただいた NTT データザムテクノロジーズの皆様、装置導入にあたりご協力いただいた財務課調達係の皆様、施設課の皆様、ATC および ATC 利用の皆様、関係各方面の皆様に、あらためて深く感謝申し上げます。