

TMT 主鏡鏡材製作の進捗と国際共同

林 左絵子 および TMT プロジェクト メンバー (国立天文台)

概要

次世代超大型光学赤外線望遠鏡 Thirty Meter Telescope (TMT) の主鏡は分割鏡方式であり、82 種類 x (6 セクション+スペア)の合計 574 枚の部品を日本・米国・印度・中国で作る。分割鏡は、ガラスセラミック硝材を高精度で非球面研磨し、6 角形に加工したセグメントと呼ぶ部分と、それを支持する機械部分とから成る。セグメントについて日本が基板硝材と球面研削加工を全数担当し、研磨加工も先発して全体をリードしている。硝材が 350 枚を超え、技術情報の共有、検査方法や現物確認などで、国際的なパートナーシップを進めている。

Abstract

Thirty Meter Telescope (TMT) is one that is to be built in northern hemisphere, of the three next generation extremely large optical-infrared telescopes. Its primary mirror consists of aspherically polished hexagonal segments. The glass-ceramic substrata are being fabricated in Japan and the time consuming polishing process will take place in in the factories in four countries. Japan is ahead in the polishing and US started its first polishing. During the symposium, the first batch of 18 ground blanks arrived India for the next process of fabrication. The Japanese product of the raw material and the first stage processing - the meniscus blanks - already exceeded more than half of the 574 such blanks. Specification document, careful screening of the processes in each factory prior to the production, and inspection of the products are important. We, members of the partners, are all learning these review and inspection procedures.

1. 分割鏡製作の多段階工程

Thirty Meter Telescope (TMT)はその名の通りの外径 30 メートルの主鏡を実現するために、492 枚の分割鏡を作る。82 種類 x 6 セクション、これにスペアを足して全部で 574 枚の「セグメント」を作るのだが、その種類により非球面形状や外形が微妙に異なる。個別のセグメントそれぞれについて主鏡中心方向が異なり、回転対称ではない。最終的な鏡面上でどこに来るものになるか、間違いの無いよう確認を進めている。

セグメント製作の最初は硝材クリアセラムで、材料粉末を混合溶解し、攪拌して全体が均一になるようにする。その後数ヶ月かけて結晶化するのだが、この結晶部分の混ざり具合が、TMT にとって重要な性能すなわち熱膨張率がゼロ近を実現する鍵となる。

こうしてできた硝材円板を球面に研削すると「メニスカス鏡材」となる。これを非球面に研削、ついで研磨するのだが、鏡材側を曲げることで加工機にはシンプルな球面研磨動作をさせている。単一鏡と異なり、分割鏡は縁まで磨ききっておく必要がある。計測と加工を慎重に繰り返してきた。

研磨後に 6 角に整形、裏面に支持機構やセンサーのためのポケットを作る外形加工過程となる。これを「ヘックス」と呼ぶ。ヘックスを、機械的支持機構「SSA」に搭載すると PMA という部品になる。加工の最後は PMA 表面をイオンビームで研磨する IBF である。実際の反射面にするのは、望遠鏡サイトでのコーティングである。

2. 4カ国で分担

きわめて重要で長納期の部品を揃えていくために、供給源を複数にするのもリスク管理の一つである。なお光学は職人芸の域が残っていて、技術情報は電子的に交わすが、レビューなどで工場を訪問する際に、現場で実際に加工している担当者と言葉を交わすことを重視している。

- 1) 硝材からメニスカス加工までは日本の複数メーカー
 - a. 硝材は熱膨張率がゼロに近く、かつ不純物や残留ストレスが少ないなど加工性能も求められる。メーカーによる開発前史あり。
 - b. 硝材のための設備：十分に大きな溶解炉とアニール炉を（複数）持つ、量産体制もキー。
 - c. 球面加工ではインプロセスでの測定が鍵。
- 2) 非球面加工（研削、研磨）、外形加工、SSA（主鏡支持機構）搭載 4カ国の工場
 - a. 非球面研磨 ストレスをかけて曲げ、研磨機の動作は球面研磨；インプロセスでの測定では主に 2次元測定器を用いるが、光学干渉計でも細かい形状を測る。
 - b. 外形加工 跳ね上がりを抑えるため、日本では削り取る方式を選択。光学研磨後に形状加工をすることは普通やらないので、研磨面の保護が課題。
 - c. 日本、米国、印度は基本的に同じような方法で研磨。中国は鏡材が上、3枚同時に研磨を行うようである。
- 3) IBF は 1箇所（米国）になる予定
- 4) セグメント支持機構 SSA 製作は印度（最初の 6 台のみ米国）
 - a. 部品は他国からも入れる。たとえば 15000 個を超える小型モーターは中国から調達。このモーターが 50 年運用で不具合 1 個以内という仕様で、パサデナ近郊の作業場で耐久試験が行われた。
 - b. SSA とセグメントをつなぎ、セグメントに接着される部品は重量支持と形状修正の要となるため、デザインの改良が繰り返された。なお中心部の部品は E-ELT のノウハウに基づくデザインとなっている。

3. 進捗状況

- 1) 硝材が 360 枚を超えた。当初から量産に使っていた溶解炉に寿命が来たため、別のクリアセラム製品溶解用として稼働中の炉について製品性能検証作業を進めている。
- 2) 球面研削済みのメニスカス鏡材 330 枚超え、つまり半分以上できた。国内向けおよび米国向けに納入が進められてきたが、このたび初めて印度にも納入した。
- 3) 非球面加工 日本では 30 枚に達するところ、米国では 1 枚目加工中。

- 4) SSA 製作 パサデナ近くの作業場で実験機5台（7台作る）まで組立が終わり、うち2台を動作試験機に搭載したところ。量産型については6台分の部品が米国にある。その後、印度が担当するのだが、2020年のうちには印度製品もできる予定である。
- 5) 外形加工 日本での試作ほぼ終了した。研磨面の保護が課題である。
- 6) IBF 加工の準備 光学的に測る測定器をアリゾナで製作中。

4. 課題

ガラスは損傷すると元に戻せないなので、取り扱いを慎重にしなければならない。生産開始前のレビューでは、担当者のトレーニングなどが重要なポイントとなっている。キズ検査とその対策や処置について、ガラスメーカーや光学メーカーであればそれぞれにノウハウを持っているので、それらを生かし、かつ加工中に生ずる微少なキズを次の工程で除去できるよう管理している。

溶解炉など主要な機器を更新した際に、性能再評価を行う。オハラ社でガラスの溶解炉を変更した。炉には寿命があり、今まで生産に使っていた炉がリタイアしたためである。その際に他に使われているクリアセラム製品よりも厳しい製品性能が求められるため、溶解の条件出しを積み重ね、ようやくクリアしつつある。全ての工程で、計測機器の校正およびそれらの原器校正の記録を確認している。

工場が4カ国にまたがり、所によっては大規模な自然災害も起きる可能性があることから、加工中に限らず、輸送時および保管時の安全性も大きな問題である。梱包された硝材は3段積みまで、SSA/PMAは1段のみで重ねてはいけない。トラックでの輸送時には空気圧サスペンションのついた車両を手配する。梱包箱を積んだ際には横木を打ち付けて荷崩れを防ぐという地震対策に加え、輸送時にはさらにスリングをかけ、コンテナの床に木片を打ち付けてすべり対策を施している。

