

すばる望遠鏡の主鏡を支える 日本生まれの音叉振動式力センサ

ティエムラボ 代表
照 沼 孝 造

◆経 歴◆

1974年：新光電子株式会社入社。計量計測機器の開発に従事
1983年：音叉振動式電子天びん開発
1986～1994年：すばる望遠鏡用音叉振動式力センサの開発
1986年～：本質安全防爆構造電子天びんの開発。真空質量測定装置の開発。貨物質量寸法計測機の開発。
1986～2016年：防爆機器工作責任者。
2020年3月：同社退職
2020年4月：ティエムラボ創業

1. すばる望遠鏡

ハワイ島マウナケア山頂で、138億光年という彼方にある宇宙を観測する国立天文台「すばる望遠鏡」による天体観測が始まってから、既に20年以上が過ぎましたが、次々に新しい発見をもたらし、数々の成果を上げ続けています。



■図1 ハワイ島マウナケア山頂にある「すばる望遠鏡」
(2000年2月、筆者撮影)

すばる望遠鏡の建設計画は、1980年代半ばから具体的な技術検討が始まり、1991年から正式にスタートしました。完成までに数多くの最先端技術が導入されましたが、最大の課題は、厚さ20cm、直径8mを超える一枚鏡の反射鏡(主鏡)の製作と、主鏡を“理想的な形状”に保つための高精度な力センサの開発でした。

主鏡の製作は米国のメーカーが行い、力センサ(音叉振動式力センサ)は、筆者が在籍していた日本の中小企業が開発しました。力センサの開発は1986年から始まり、1994年に終了しました。

主鏡の反射鏡は、米国で8年間をかけて製作後、1998年ハワイ島に運ばれ、1999年「すばる望遠鏡」が完成しました。

また、主鏡以外の望遠鏡本体の装置類も1995年までに完成し、国内で仮組と各種テストを経てハワイ島に運ばれました。仮組に利用された大阪

府内の建屋跡地には、現在、関西で有名なテーマパークが建設されています。

2. 主鏡の鏡面形状補正

すばる望遠鏡の一枚鏡の反射鏡は、外形Φ8.3m(有効口径Φ8.2m)で厚さは20cmしかなく、しかも重さは22.8トンもあります。更に裏面にはΦ15cm、深さ15cm程度の穴が264個も空いており、そのままでは自重で変形(ひずみ)だけでなく、破損の危険性がありました。

そこで、この穴に261本の指(支持機構)を取り付け、主鏡の自重を支えるとともに、主鏡が理想的な形状になるよう、指(支持機構)の微小な“力”で微妙な変形(ひずみ)の補正(制御)を行いました。3点の固定点を含め、264点で保持されています。

“理想的な形状”とは「主鏡の鏡面精度を12nm(ナノメートル)に保つこと」です。これは、東京都の面積をたった0.5mmで平らに保つ精度に匹敵します。

天体望遠鏡は、天頂(真上)から水平線(真横)まで動きます。主鏡面に対して、水平方向は単純にテコ重り(バランスウェイト)を使い、てこの支点を中心に水平方向の変形を重りで補正しています。

一方、垂直方向は、指(支持機構)が発生する“力”で保持しながら、変形(ひずみ)を補正して理想的な形状にします。この時の補正の正確さは、力センサの性能で決まります。

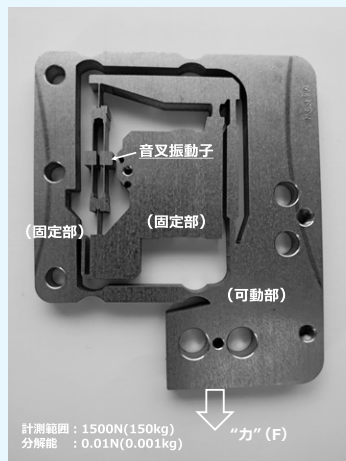
261本の指には、「それぞれに力を発生させる機構」と「発生した力を計測する力センサ」が組み込まれています。

主鏡を理想的な形状にするためには、保持に必要な力、約900N(90kg)を計測しながら、形状を補正する力を0.01N(1g)の正確さで計測する必要が

あり、この力を計測するために「音叉振動式力センサ」が使われます。

従来、力計測には、ロードセルをはじめとする力センサや検出器が各種ありました。

しかし、様々なテストの結果、マウナケア山頂、4,200mという厳しい環境で、日没から日出まで連続計測で0.01N (1g) / 1,500N (150kg) の性能を唯一実現できたのは、新光電子株式会社で開発された「音叉振動式力センサ」だけでした。

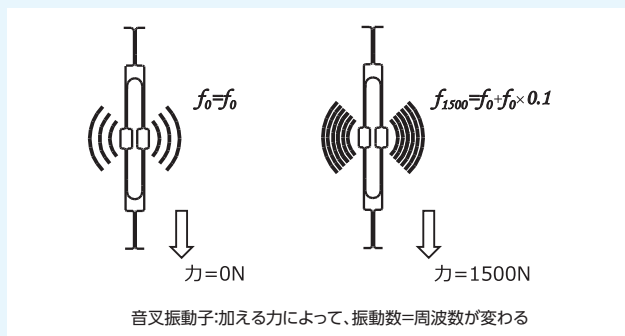


■ 図2 すばる望遠鏡用音叉振動式力センサ
©新光電子株式会社

3. 音叉振動式力センサ

音叉振動式力センサは、音楽で調音に使われる音叉形状の振動子を上下につなぎ合わせ、力を加えられる構造になっています。

あらかじめ振動している音叉振動子に“力”が加わると、振動数が変わります。この振動数の変化を利用して、加わる“力”を正確に測ることができるのが、力センサです。



■ 図3 音叉振動式センサの原理図 (筆者作成)

音叉振動子の振動数、すなわち周波数は、音叉振動子の形状と材料の特性によって決まります。一度形状と材料が決まれば、形状や材料の特性は変化せず、安定した周波数が得られるため、正確な“力”が計測できます。

音叉振動子の大きさは、概略で20x7x3 (mm)、材料は特殊な恒弾性材料 (バネ材) を使用しています。加工は専用の放電加工機で行います。

振動数は周波数の変化として、コンピュータ

処理を行い計測した“力”へと変換されます。周波数=力の分解能は、1秒間に換算すると300万分の1以上あり、主鏡制御 (ひずみ補正) の50msecの時間でも15万分の1 (=0.01N) 以上が得られます。

音叉振動式力センサは、形状と材料で特性が決まり、シンプルで、時間による変化 (経時変化) が極めて少ない力センサと言えます。

天体望遠鏡は、日没から日出まで連続観測を行います。天体観測は、観測データの連続性が大変重要であり、力センサや観測機器の性能劣化や異常による観測中断は避けなければなりません。つまり、外乱の影響を受けず再現性があり、高精度、高安定で、校正や調整が不要な故障しない力センサが要求されます。

すばる望遠鏡が稼働してから、観測途中に力センサの校正、調整が必要になったことはなく、試験期間を含めて25年間以上、故障や不具合も発生しておらず、信頼性の高い力センサと言えます。

力センサに限らず、多くのセンサ類は欧米で開発されています。しかし、音叉振動式力センサは、日本で生まれた数少ないオリジナルの力センサのひとつです。

4. 終わりに

すばる望遠鏡には、大変高度で複雑な当時の最先端技術を多数導入して開発され、現在でもバージョンアップされ続けています。

しかしよく見ると、それぞれ高度な最先端技術ではありますが、「天体観測」という目的のための原理原則に則った、実にシンプルなものであり、時間が経過しても色あせない基本的な技術です。

元々、天体望遠鏡が50年、100年と使い続けられることから、いたってシンプルな構造にしているからかもしれません。

筆者は、観測が始まった2000年にハワイ島マウナケア山頂のすばる望遠鏡を見学する機会に恵まれました。足元に雲海が広がる4,200mの山頂にそびえ立つ天文台ドーム、望遠鏡本体や各種の装置は、大変素晴らしいものでした。

当時は出来たばかりでしたが、現在はホームページで大変素晴らしい成果や望遠鏡の解説を見ることが出来ます。また、現地には見学ツアーもあるようです。ご興味のある方は一度見学されることをお勧めします。