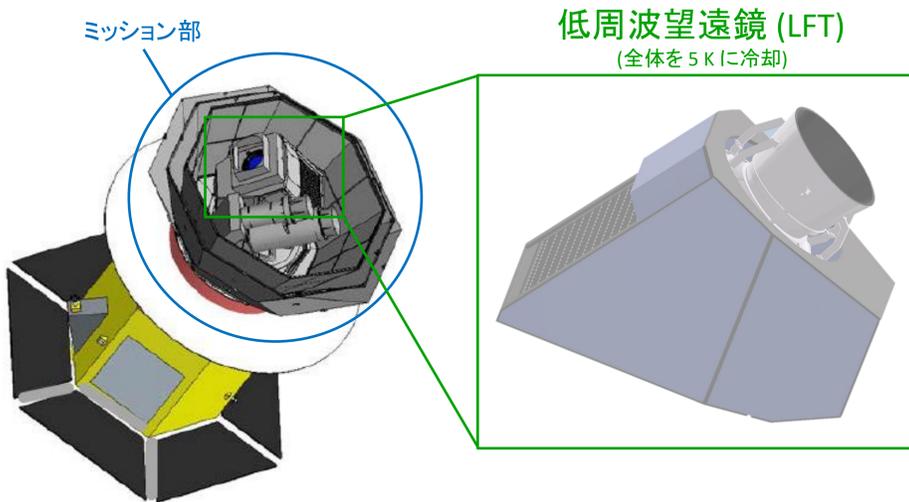


## 1. 研究目的

LiteBIRDは、マイクロ波背景放射の精密全天探査を通してインフレーション宇宙論の検証を目指す衛星観測計画である。本衛星では機体からの熱放射を低く抑えるために、望遠鏡の大部分を5Kに冷却する。断熱性と構造の剛性はトレードオフの関係にあるため、骨組み形状の改善や軽量化が重要となる。

今回は、ミッション部、特に低周波望遠鏡(LFT)の軽量化を行った。LFTは全体を5Kに冷却する。LFTは30Kのベースプレートから固定される。固定のための治具は、断熱性の要求から剛性が制限されるため、衛星の固有振動数を下げるためには、LFTの軽量化が必要不可欠となる。また、冷却時間の短縮の観点からも、LFTの軽量化はメリットとなる。



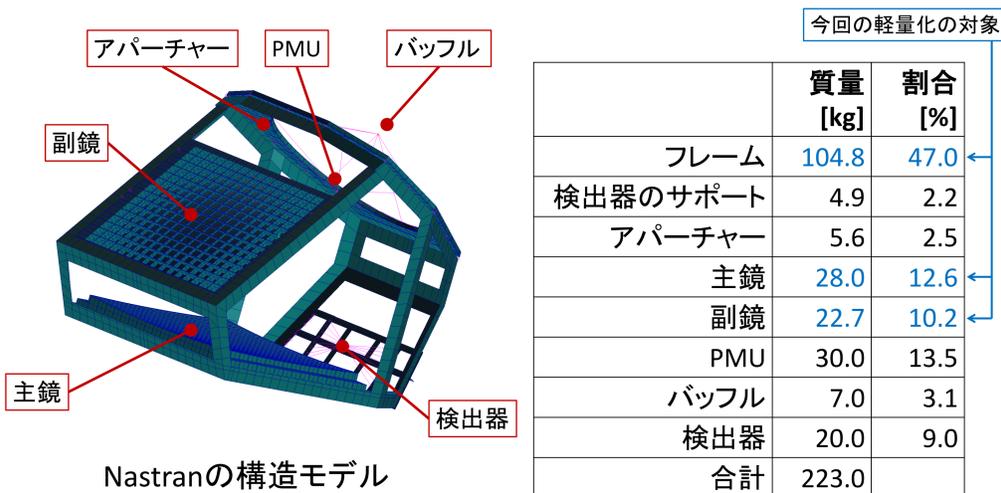
## 2. LFTの構造モデル

構造解析にはNastranを用いた。望遠鏡は主にアパーチャー、主鏡、副鏡、検出器で構成される。このうち、アパーチャーと二つの鏡はソリッド構造で、検出器は質点でモデル化している。また、アパーチャーに固定されるバッフル、偏光角変調器(PMU)も質点で再現している。これらの要素は、シェル構造でモデル化したフレームによって固定されている。

拘束条件をフリーにしたときの固有値解析の結果を上記、各構成要素の質量を下に示す。このモデルでは、主鏡、副鏡、フレームで70%近くを占めている。固有値を維持しつつ、この3要素の軽量化を行った。

| MODE | 固有振動数 [Hz] |
|------|------------|
| 7    | 66.0       |
| 8    | 78.4       |
| 9    | 79.7       |
| 10   | 89.6       |
| 11   | 92.8       |

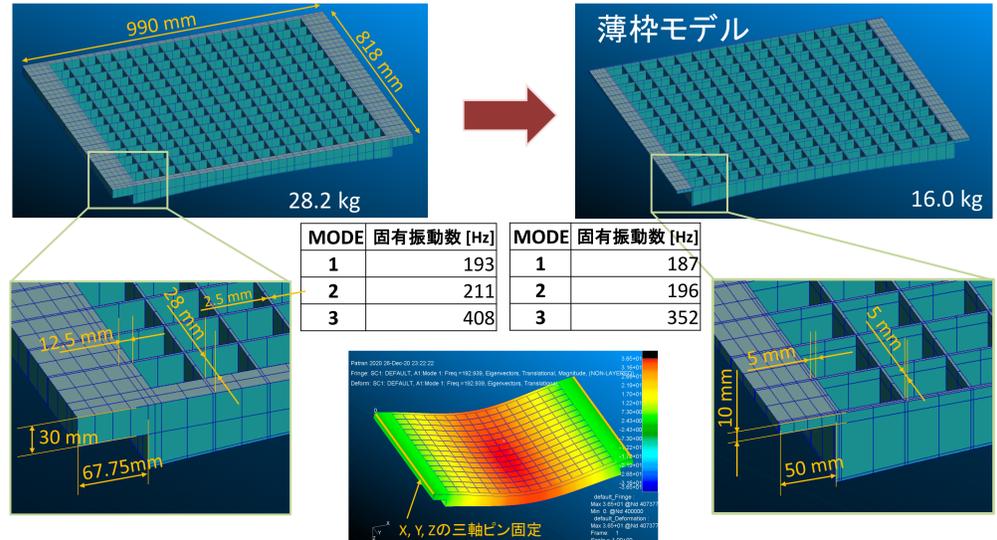
※ 剛体モードのMode 1~6は省略



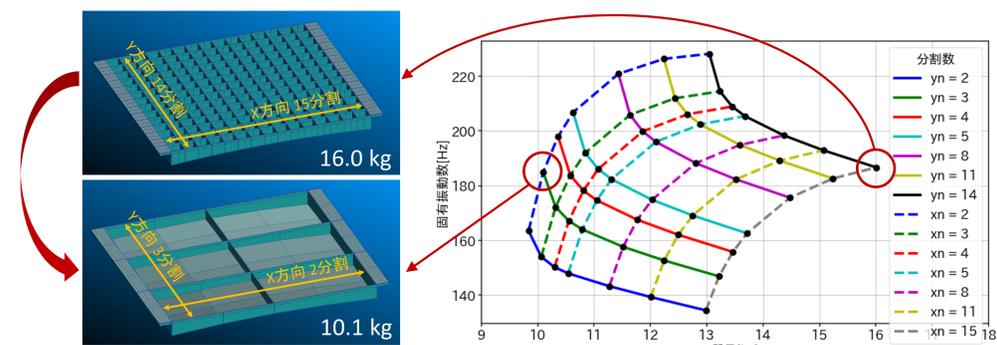
## 3. 主鏡・副鏡の軽量化

初めに、主鏡の軽量化を行った。LFTを構成するフレームは十分に剛であると仮定し、左右の端を三軸固定して、固有振動数を評価した。

まず、四辺を構成している枠を薄くした。これにより、固有振動数を190Hz近くに保ちつつ、16.0 kgまでの軽量化に成功した。



次に、リブの数の最適化を行った。下に、X方向、Y方向のリブの分割数を変えた時の重量と固有振動数の関係を示す。ここから、X方向2分割、Y方向3分割のデザインを用いれば、10.1 kgまで軽量化が可能であることがわかった。

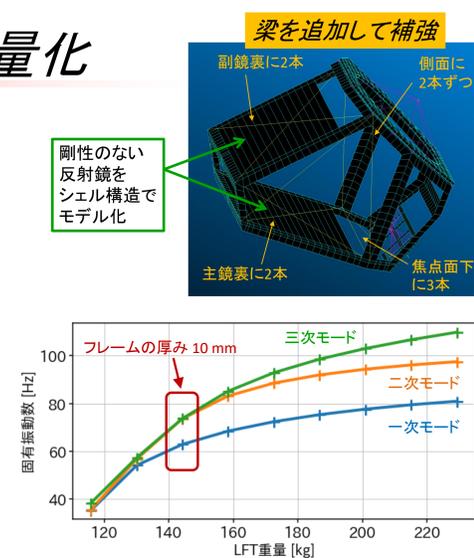


副鏡に対しても同様の軽量化を行った。副鏡は主鏡と比べて曲率が大きく、固有振動数が低かったため、ミラー構造全体の厚みを増やすことで、補強も行った。結果、固有振動数 220.9 Hz、重量 10.7 kgを実現した。

## 4. フレームの補強・軽量化

反射鏡の剛性に頼らない構造にするために、ヤング率を非常に小さくしたシェル構造で反射鏡(各10kg)をモデル化し、フレーム構造の補強を行った。側面の五角形構造の変形や左右のねじれ、横揺れを抑えるために計11本の梁を追加した。

その後、フレームと梁の厚みを変えて固有振動数と重量の関係性を調べた。軽量化前の固有振動数を維持するために、フレームの厚み 10 mm、最低次モードの固有振動数 62.9 Hzのデザインを選択した。

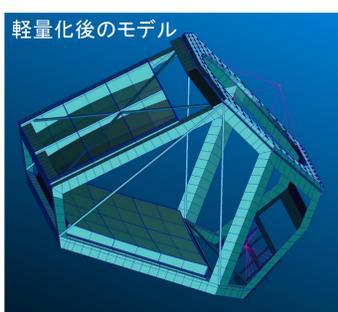


## 5. 改善後のモデル

軽量化を行ったフレームに、ソリッド構造の主鏡・副鏡を組み合わせたモデルと、その振動解析の結果を右に示す。拘束条件フリーの固有振動数を維持しつつ、78 kgの軽量化に成功した。

実際には、外からの迷光を防ぐために、全ての面にアルミ板+電波吸収体(約30 kg)を取り付ける必要がある。今後はその剛性も用いて、さらなる軽量化を図る。

また、今回は梁を追加することで剛性を高めたが、部品点数を抑える観点から、反射鏡の剛性を高めて梁の数を減らすデザインの検討も進める。



|          | 質量 [kg] | 割合 [%] |
|----------|---------|--------|
| フレーム     | 52.4    | 36.2   |
| 追加した梁    | 4.3     | 3.0    |
| 検出器のサポート | 4.9     | 3.4    |
| アパーチャー   | 5.6     | 3.9    |
| 主鏡       | 10.1    | 7.0    |
| 副鏡       | 10.7    | 7.4    |
| PMU      | 30.0    | 20.7   |
| バッフル     | 7.0     | 4.8    |
| 検出器      | 20.0    | 13.8   |
| 合計       | 145.0   |        |

| MODE | 固有振動数 [Hz] |
|------|------------|
| 7    | 68.4       |
| 8    | 81.6       |
| 9    | 88.4       |
| 10   | 95.1       |
| 11   | 102.6      |

このモデルの最低次のモードでは、アパーチャー周辺が大きく影響を及ぼしている。今後はアパーチャーの構造も検討する必要がある。

