

低温装置における 鏡材選定の重要性とその評価

北川 祐太郎^a E-mail : y_kitagawa@ioa.s.u-yokyo.ac.jp

山形 豊^b, 森田 晋也^b, 尾崎 忍夫^c, 本原 顕太郎^a, 高橋 英則^a, 小西 真広^a, 館内 謙^a, 藤堂 颯哉^a, 小早川 大^a, 加藤 夏子^a

a: 東京大学 天文学教育研究センター, b: 理化学研究所 先端光学素子開発チーム, c: 国立天文台 TMT推進室

✓ 概要

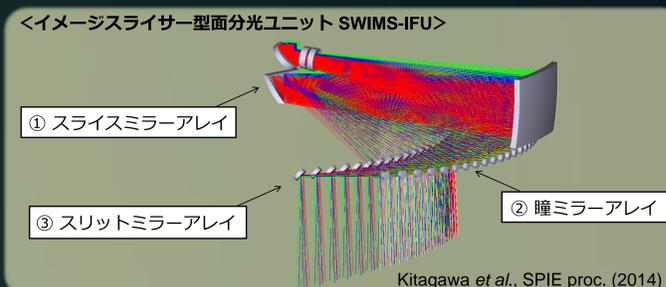
- 可視赤外天文学装置において、光学系を構成する材質として「硝材」と「金属材料」が挙げられる。
- それら材質の特性に応じて、「研磨加工」と「切削加工」が選択される。それぞれの特徴は以下の通り。

研磨加工 (主に硝材)

- 長所
表面粗さが小さい
確立された手法
- 短所
熱設計の複雑さ
複雑形状・非球面加工の困難

切削加工 (主に金属材料)

- 長所
支持構造と同じ母材を選べる
非球面加工が容易
- 短所
表面粗さ、形状誤差が
(研磨加工と)大きい



- 赤外装置では以下の点において、金属ミラーを用いる利点がある
 - イメージスライサー型 IFU (右上図) のような複雑形状のミラーアレイの **一体加工が可能**
 - 支持構造と同じ母材 (i.e. Al合金) を選べるので、運用時温度 (~ 80K) での **熱収縮によるミスアライメントを回避可能**

本研究では、

- [1] 各種 Al合金を同条件で加工し、表面粗さを評価することで超精密切削加工に最適な母材の探索
- [2] 切削性で有利な NiP メッキに対して、Alとの熱膨張率の差異による低温での形状歪みの評価を目的として以下の加工、評価を行った。

[1] 各種 Al 合金の超精密切削加工による表面精度 評価

- 理化学研究所 先端光学素子開発チーム所有の ULG - 100AH3 を用いて超精密切削加工

- ワーク形状 : 10 mm x 10 mm (SR = 70 mm)
- 使用工具 : ダイヤモンドRバイト (工具R 0.5 mm)
- 加工条件 : 送り速度 2 mm/min、回転数 500 min⁻¹、切込み量 0.002 mm



合金名	A2024	A5052	A6061	A7075	RSA6061	RSA443
組成	Al - Cu	Al - Mg	Al - Mg - Si	Al - Zn - Mg	Al - Mg - Si	Al - Si
表面粗さ (nm rms)	9.5 - 10.5	15 - 20	13 - 20	14 - 15	9 - 20	(30 - 60)*
形状誤差 (μm P-V)	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	(0.2)

* RSA443は加工時の刃先がチッピングしていた可能性があるため参考値とする

- 1) 形状誤差は 0.1 μm P-V を下回っており、加工機の機械精度の再現性の良さを反映していずれも同じ値をとる。
- 2) 表面粗さは、A2024 と RSA6061 で 10 nm RMS を下回る良好な値が得られた。前者は材質の硬度が、後者は急速冷却処理による粒径の極小化が切削性に対して有利に働いたものと解釈できる。

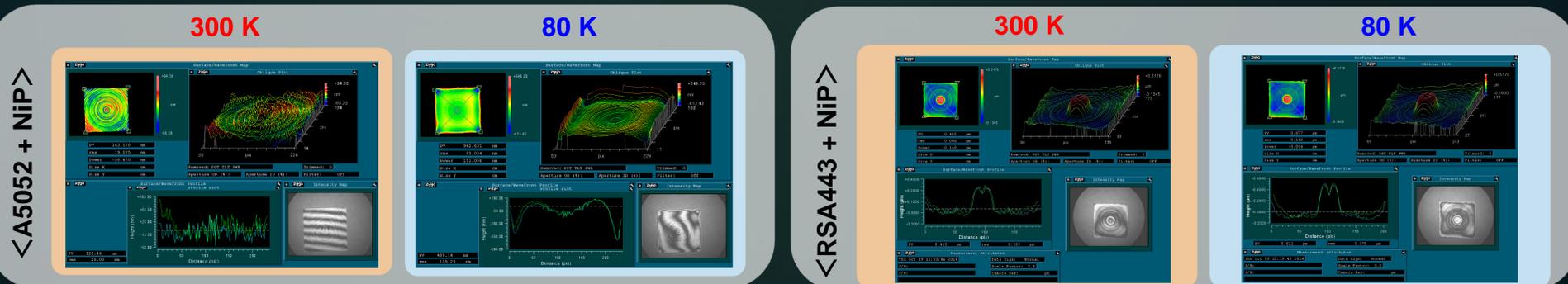
[2] Al + NiPメッキの低温形状測定

- NiPと母材の熱収縮率の差異による低温での形状歪み (バイメタル効果) を評価

- サンプル : A5052 + NiP, A443 + NiP (メッキ厚はともに 100 μm)
- 使用装置 : Zygo GPI (国立天文台ATC所有)
- 測定条件 : 室温 (~ 300K) と低温 (~ 80K) でそれぞれ形状測定を行い、変化を評価

熱膨張係数 [$\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$] * 293 Kでの値

- ・ Al 合金 : ~ 23
- ・ (無電解) NiP : ~ 13
- ・ RSA443 : Si 含有量を変えることでチューニング可能



- 1) A5052 + NiP では中央部で ~ 70 nm、四隅で ~ 350 nm P-V の歪みを確認。
- 2) RSA443 + NiPでは、低温でのグローバルな形状歪みがA5052と比較して抑えられている (四隅で ~ 100 nm P-V の変形)

✓ 結論

金属ミラー製作では以下の2つの方向性が考えられる。実験の結果、最適な鏡材として以下の候補を得た。

- I) 母材のみ : 到達できる表面粗さに課題が残っているが、低温使用での歪みは無し → RSA6061
- II) 母材+メッキ : 表面粗さは < 5 nm RMS が可能。低温での形状歪みがあるが、回避可能 → RSA443