

X線望遠鏡用無電解ニッケルめっきのコロイダルシリカによる平面研磨加工

○松下幸司, 鳥居龍晴

教育・研究技術支援室 装置開発技術系

1 はじめに

DIOS や ASTRO-H などの X 線天文衛星計画は, X 線観測により宇宙の構造を探ることを目的としている。それらの衛星に搭載される X 線望遠鏡のミラーは, 円錐状のレプリカ用母型の表面形状を薄板に転写するレプリカ法により製作され, レプリカ用母型の表面形状精度がミラーに反映される。波長の短い X 線を反射するため, レプリカ用母型に要求される面粗さは 0.3 nm rms 以下である。

レプリカ用母型材料の候補に無電解ニッケルめっきが挙げられており, この材料でレプリカ用母型の要求仕様を実現可能な加工方法を見出すための実験を行っている。今回, 無電解ニッケルめっきを施した円盤を, ダイヤモンド工具により旋盤加工した後, 研磨剤としてコロイダルシリカを使用した平面研磨をおこない, 加工面粗さを調べた結果について報告する。

2 X線望遠鏡とレプリカ法

X 線望遠鏡は, 図 1 のように多層状に厚さ 0.2 mm 程度の曲面形状の X 線反射ミラーを配置し, ミラーの凹側の鏡面で X 線を反射し集光する。ミラーが薄く, 直接研磨加工をおこなうことが困難であるため, レプリカ法を用いて製作する。

レプリカ法は, レプリカ用母型の表面形状を, ミラーとなる曲面板に転写し反射面を作製する手法である。まず, 図 2 (a) のように, 表面を鏡面仕上げしたレプリカ用母型に対し, ミラー面を構成する白金などの材料を蒸着し, 図 2 (b) のように蒸着面にアルミ製曲面板を接着剤で貼り付け, 図 2 (c) のように曲面板をレプリカ用母型からとりはずす際に, 蒸着物が曲面板側に移る。蒸着物表面には, 鏡面仕上げされたレプリカ用母型の表面形状が転写されているため, 曲面板の凹面は鏡面となる。従って, レプリカ法で製作した X 線反射ミラーの性能は, レプリカ用母型の表面形状精度に依存する。

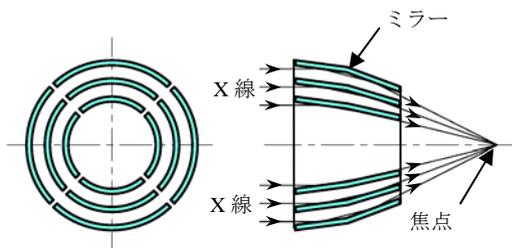


図 1 X線望遠鏡概略図

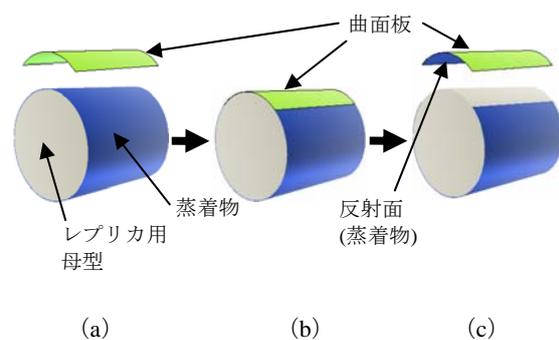


図 2 レプリカ法

3 実験方法

表 1 に実験条件, 図 3 に研磨装置概略を示す。試料は, A5056 製 $\phi 50 \times t 10$ に $100 \mu \text{ m}$ の厚さの無電解ニッケルめっきをしたものを用いた。その平面部を超精密旋盤(理研製鋼製, UPL1)で切削加工をおこなった後, セラミック製の試料固定台に試料をワックスで固定し, 切削面を平面研磨した。

$\phi 300$ のアルミ盤にポリウレタン製のポリシングパッドを貼り付け, その上に試料と研磨液分布の均一化のための保持リングをのせる。ポリシングパッドを 80 min^{-1} で回転させると, それに伴い試料と保持リングは回転する。研磨中は研磨液を定期的に噴霧する。研磨剤は, 平均砥粒径 15 nm , PH9.7 および平均砥粒径 40 nm , PH9.5 のコロイダルシリカを用いた。研磨時の荷重は, 試料及び試料固定台の自重のみである。粗さ測定には, AFM (Nanosurf 製, MobileS) を用い, $9.8 \times 9.8 \mu \text{ m}$ の範囲を測定した。測定前に試料を洗浄した。

表 1 実験条件

試料	無電解ニッケルめっき (母材: A5056, $\phi 50 \times t10$)
研磨剤 種類 平均砥粒径 PH	(1) コロイダルシリカ 15nm(10~20nm) PH9.7
	(2) コロイダルシリカ 40nm(30~50nm) PH9.5
研磨液噴霧時間	50sec ごとに 1sec 間
ポリシングパッド	ポリウレタン (スウェードタイプ)
ポリシングパッド 回転数 (周速)	80 min^{-1} (50 m/min)
研磨加工圧力	3.4 kPa (35g/cm ²)
研磨時間	10, 30 min

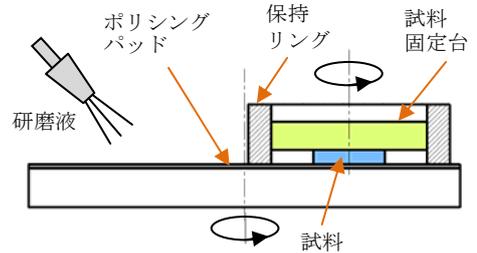


図 3 研磨装置概略

4 実験結果

4.1 砥粒径と粗さの関係

砥粒径と研磨面粗さの関係を調べるため、平均砥粒径 15nm と 40nm のコロイダルシリカを使用し平面研磨をおこなった。図 4 と図 5 に、それぞれの砥粒についての研磨面粗さと研磨時間の関係を示す。粗さが収束する合計研磨時間は、平均砥粒径 15nm では 20min、平均砥粒径 40nm では 30min であった。粗さの収束値は、平均砥粒径 15nm では 0.45~0.7nm rms、平均砥粒径 40nm では 0.52~1 nm rms であった。

粗さが収束するまでは、1 回の研磨時間は 10min であった。収束後に 30min の研磨時間で加工をおこなった結果、いずれの砥粒径の場合も粗さが大きくなる傾向が見られた。この原因として、ポリシングパッドの汚染、劣化や、研磨時間の違いによる研磨作用の差異が考えられる。その調査結果を 4.2 節に示す。

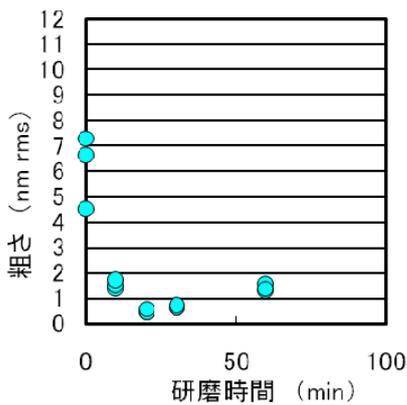


図 4 粗さと研磨時間の関係
(平均砥粒径 15nm)

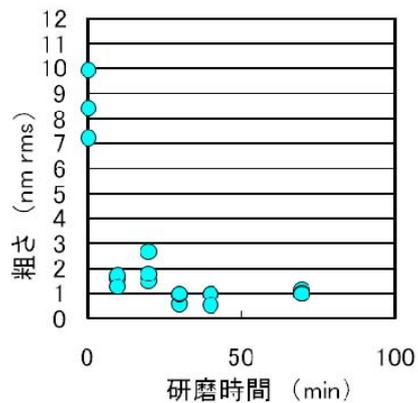


図 5 粗さと研磨時間の関係
(平均砥粒径 40nm)

4.2 研磨時間と粗さの関係

図4, 図5で最後に研磨した面の粗さが大きくなっている原因の1つとして, ポリシングパッドの汚染, 劣化が考えられる. そこでポリシングパッドを未使用のものに交換し, 平均砥粒径 15nm (図4) の実験で使用した試料を追加研磨した. 研磨時間は4.1節の実験での最後の研磨 (図6のC) と同じ 30min である. その結果, 図6のDの粗さとなり, ポリシングパッド交換前に 30min 研磨した図6のCの粗さと同程度であったため, 交換前に使用していたポリシングパッドが特別に汚染や劣化していた可能性は少ない.

次に1回あたりの研磨時間の影響を調べるため, 研磨時間 10min で加工した. ポリシングパッドは引き続き同じものを使用した. 粗さは図6のDからEに減少し, 1回あたりの研磨時間が 10min であった図6のA, Bに近くなった.

図6のAからEまでの粗さを, 1回あたりの研磨時間ごとに示したものが図7である. 1回あたりの研磨時間が 10min の方が粗さは小さい. 研磨剤はアルカリ性を示すため, 長時間連続研磨した場合, ケミカル作用の影響が大きくなり, 面を荒らしている可能性がある. また, 1回あたりの研磨時間が長い方がポリシングパッドに蓄積する研磨粉が多く, 粗さに影響を及ぼす可能性が考えられる.

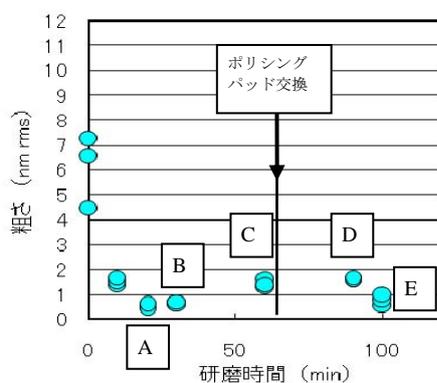


図6 粗さと研磨時間の関係

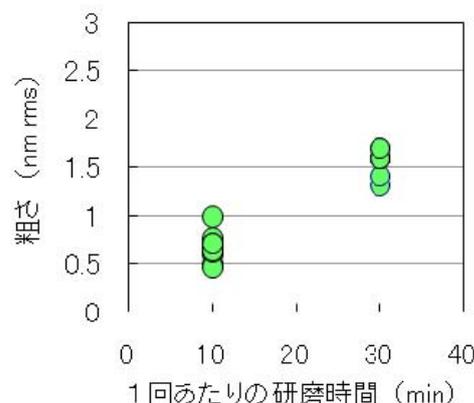


図7 粗さと1回あたりの連続研磨時間の関係
(図6のA~Eデータ使用, 平均砥粒径 15nm)

5 まとめ

コロイダルシリカを用い, 無電解ニッケルめっきの平面研磨をおこない, 以下の結果を得た.

- (1) 平均砥粒径 15nm と 40nm を使用し, 超精密旋盤加工面に対し1回あたり 10min の研磨後, 試料洗浄, 粗さ測定する工程を繰り返しおこなった場合, 平均砥粒径 15nm では, 20min の合計研磨時間で最小粗さ 0.45nm rms になり, 平均砥粒径 40nm では, 30min の合計研磨時間で最小粗さ 0.52nm rms になった.
- (2) 平均砥粒径 15nm で, 1回あたりの研磨時間が 30min のときの粗さは 1.3~1.7nm rms, 10min のときの粗さは 0.45~1nm rms であり, 1回あたりの研磨時間が 10min の方が粗さは小さい.