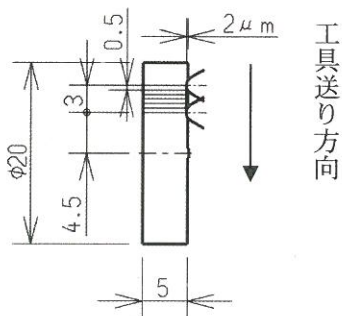
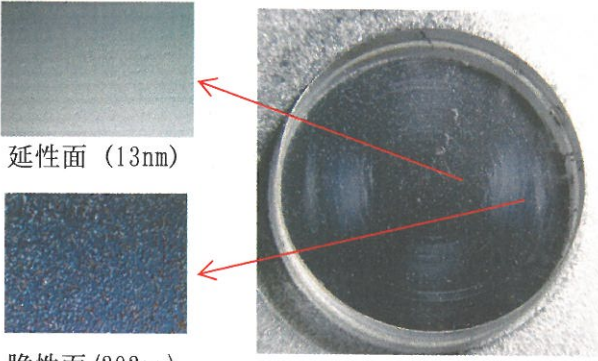


平成23年度国立天文台共同開発研究実績報告書

研究者 又は 研究代表者	氏 名	(ふりがな) すずい みつかず 鈴井 光一
	所属研究機関 部局・職	自然科学研究機構 分子科学研究所技術課 課長 電話 0564 (55) 7248
研究テーマ	超精密非球面加工機を用いた光学結晶材料 (MgF ₂ 、CaF ₂ 、BaF ₂) の非球面レンズ加工技術開発	
研究実績	これまでの共同開発で実施してきたZnSイメージングレーティングの精密切削加工技術をさらに発展させ、天文学と分子科学分野で需要がある非球面レンズの製作を目的に、先端技術センターに設置されている超精密非球面加工機、名古屋大学に設置されているELID研削機能付加NCフライス盤を利用して以下の4件の共同開発を行った。 (a) MgF₂の臨界切り取り厚さの実験 (b) MgF₂非球面レンズの製作 (c) CaF₂のELID研削加工条件の実験 (d) 超精密加工を実現するうえで重要となる加工面及び工具寿命に影響を及ぼす切削振動および機械振動の測定 なお、BaF₂については、予算の都合上実験を行うことができなかった。 (a) について、 ULG-300Cを使用した旋削加工において、切削工具にすくい角が異なる2種類 (-10度、-30度) の円弧刃先形状の単結晶ダイヤモンドバイトを用い、単結晶MgF₂ (001面) の延性加工が可能な臨界切り取り厚さと表面性状の影響について実験を行なった。 この実験方法は、図1に示すように、切込量を2μmと一定にし、X軸方向に0.5mm切削する毎に送り速度を試料の外周側から、6.0, 4.8, 2.4, 1.2, 0.6, 0.2 (μm/rev) と変化させ、切り取り厚さをそれぞれ361, 292, 149, 75, 38, 13 (nm) とした。 その結果、(1) すくい角-10度の方が、表面性状は良好であった。(2) すくい角-10度について、切り取り厚さ13nm程度までは、どの方位についても延性的に加工された。(3) 切削距離が83.4m程度の加工を行ってもバイト磨耗は発生しなかった。  図1 実験方法の模式図  図2 切削後のMgF₂と顕微鏡観察写真	

(b) について

(a)の結果から旋削加工条件（粗加工送り速度：1.2 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 、仕上げ加工送り速度：0.2 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 、バイトすくい角：-10度）を決め、直径19.6mm、中心半径23.8mm、中心厚5.1mm、焦点距離35mmのMgF₂非球面レンズの製作を行った（図3）。この加工した非球面形状を評価した結果、平均表面粗さは3.6nm Rq程度、形状誤差はレンズ中心から $\pm 4\text{mm}$ の範囲で、+150nm $\sim$ -250nmであった。図4に表面粗さデータの一部を示す。このレンズ性能の評価は、分子研の放射光施設において、真空紫外放射光（波長域100nm程度）を使用し行われる予定である。

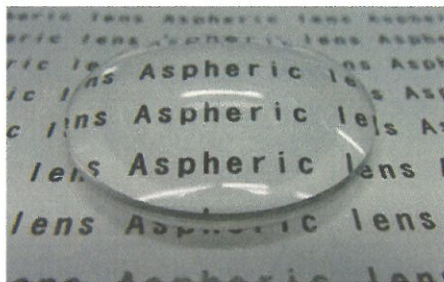


図3 製作した非球面レンズ

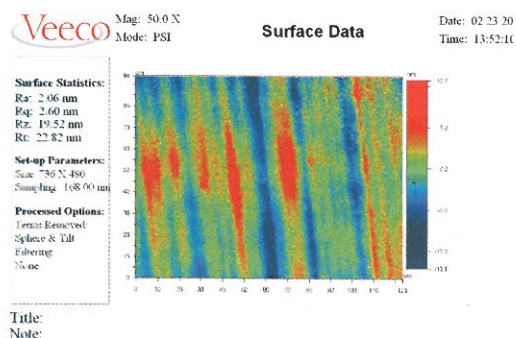


図4 表面粗さデータ

(c) について

名古屋大学のELID研削機能付加NCフライス盤で、CaF₂（111面）をELID研削で平面加工した（図5、図6）。ELID電源設定を電圧90V、電流5A、電圧印加ON時間5 μsec 、電圧印加OFF時間5 μsec とし、研削砥石砥粒径4 μm 、切込深さ2 μm 、送り速度100mm/minの条件で研削した結果、加工面粗さ18-35nm Rqでクラックのほとんど無い面となった。脆性材料であるCaF₂にELID研削加工を適用し、鏡面加工に適した条件を見出すことができた。さらに高能率化や高精度化に適した条件探しを行う予定である。

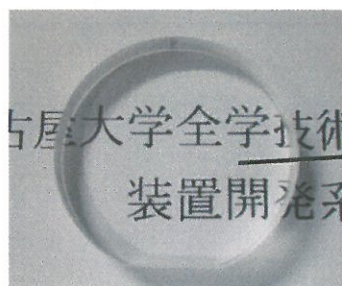


図5 ELID研削したCaF₂（ $\phi 20\text{mm}$ ）



図6 拡大写真

(d)について

単結晶MgF₂ (001面) の超精密旋削加工で発生する微小振動について、加速度センサを使って測定した。加速度センサは切削によって発生する微小な振動を測定するため切削点に近い場所に取付けた (図7)。また、脆性材料の超精密加工において発生する微小振動は、加工面性状と関連があると考えた。加工後の脆性面の凹凸はミクロン～サブミクロンのオーダーであり、加工時の周速 (～1m/s) を考慮すると、ターゲットの振動加速度の周波数は数十kHz以上と予想された。そこで、高い周波数成分の振動に着目し測定した。

本実験では、半径位置毎に切取り厚さを変化させて旋削し、切取り厚さと振動加速度の関係を調べた。その結果、切取り厚さが大きくなると、加工面が脆性となる様子を振動加速度から確認した (図8)。

今後、更に高い周波数での振動測定方法を工夫し、脆性材料の超精密切削刃物寿命測定器、刃物振動抑制装置、加工面性状その場観察装置の開発に発展させていく予定である。

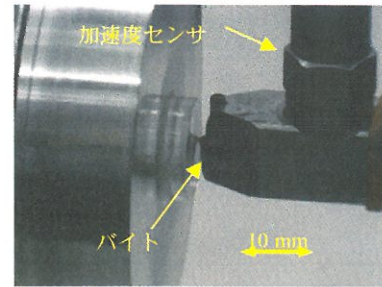


図7 バイトと加速度センサの位置関係

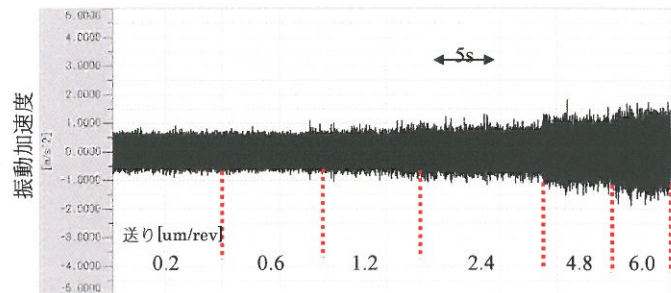


図8 振動加速度波形 (すくい角 -30°)

研究の活用	本課題は、国立天文台先端技術センター、名古屋大学全学技術センター、分子科学研究所装置開発室の3者による技術交流のもと行ってきたZnSイマージングレーティングの超精密切削加工技術をさらに発展させ、複雑な3次元創成加工へと展開を図った。この過程において、それぞれの専門分野を担当することにより、効率的に研究課題を推進することができ、MgF₂非球面レンズの製作を行うことができた。これは、光学結晶材料に対する要素技術の蓄積、向上と深化につながり、今後の天文、分子科学分野で必要とされている非球面レンズの開発に展開、応用できると考えている。また、これまでの共同研究から、工具および機械振動が、加工面性状と工具寿命の低下、脆性材料加工で重要な加工指標となる臨界切り取り厚さの減少などに影響することなどを経験的に得ている。この振動を抑制することができれば、さらなる高精度な光学デバイス加工への展開が期待できる。
-------	---