

[様式第4号の1]

令和6年3月31日

令和5年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	Super finishers	
研究課題名	磨け, 輝け, 高精度研磨	
研究代表者 (学生)	学籍番号	B24M015
	氏 名	奥村 海月
指導教員	学 科	機械工学科
	氏 名	鈴木 庸久

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

磨け，輝け，高精度研磨

システム科学技術部 機械工学科
2年 奥村 海月
2年 河端 柚季
2年 加藤 勇陽

指導教員 システム科学技術部 機械工学科
教授 鈴木 庸久
准教授 野村 光由
助教 藤井 達也

1. 初めに

MRFとは研磨剤を含んだ磁性流体を回転ホイールに流し、研磨を行う方法であり、光学部品の仕上げに用いられる。我々はMRFを用いて高性能の光学機器用レンズを製造する三共光学工業株式会社の工場見学に行き、実物を見てこれらの機械的な働きを詳しく理解するために疑似MRFモデルの作成に取り組んだ。また実際にモデルを動かして、どのように削れるのかを観察した。

2. MRFと磁性流体について

2-1 MRFの加工メカニズム

図1の中心の高速回転するホイール内に磁力があり、その磁力で磁性流体に研磨剤を混ぜた液体を図2のようなチューブポンプで循環させる。図の上の装置で空気の圧力を用いてレンズを固定し、図3のコンピュータでプログラミングをしてワークを動かし研磨を行う。ワークの自由度は6なのでレンズのような複雑で精密さが求められるものに向いている。



図1. MRF装置の研磨部分

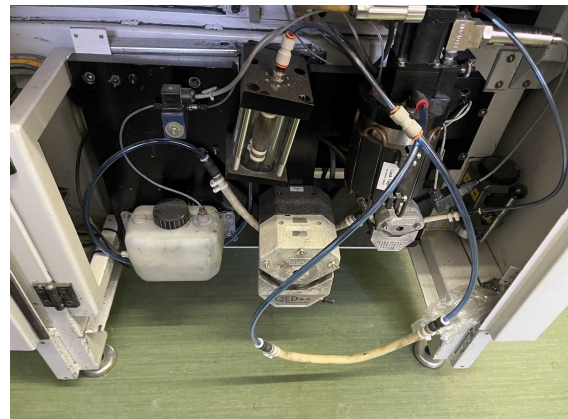


図2. 磁性流体を循環させるチューブポンプ



図3. MRFのプログラミングをする装置

2-2 磁性流体の特性について

液体として流動性を保ったまま、流れるように磁石の方向に向かっていく。鉄、ニッケル、コバルトなど代表的な強磁性体の安定した超微粒子化は難しい。多くの場合、フェライトやマグネタイトと呼ばれる酸化物や、他の物質との合金としてそれらの微粒子化をしている。

超微細化された強磁性体の粒子はそれぞれ微小な磁石の性質をもつ。

外部から磁場が作用しない場合でも小さな磁石でもある超微粒子はそれぞれ互いに近づくと、くっつきあい、微粒子同士で大きい塊を作り、沈殿してしまうことになる。すると、分散ができなくなる。粒子同士が接近しても互いの力でくっつかないように超微粒子のまわりに分子境の長い界面が活性剤に使われることが多い。磁性流体は、分散媒（母液）に磁性をもつ超微粒子を分散させたコロイド溶液である。

以下が磁性流体の強磁性体と母液それぞれの写真、定量分析結果である。

図3より強磁性体には鉄が多く含まれていることがわかる。図4からは酸化セシウムが多く検出されていることがわかる。

2-3 MRF 液体の分析結果

図4は強磁性体のSEM分析結果、図5は母液のEDS分析結果である。

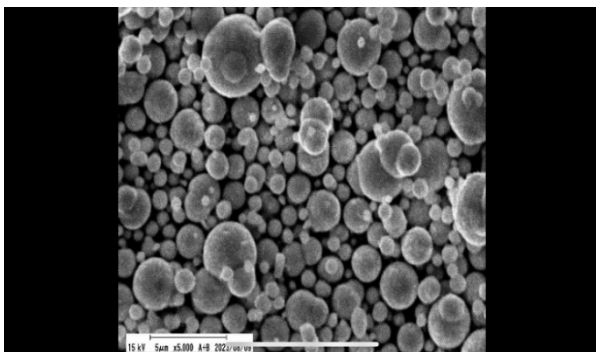


図4、強磁性体のSEM分析結果

SEM分析の結果の強磁性体の物体の大きさは約 $4.5\mu\text{m}$ 、母液には砥粒が含まれていて写真の白い部分は砥粒なのではないかと思われる。

る。その大きさは約 $10\mu\text{m}$ だった。

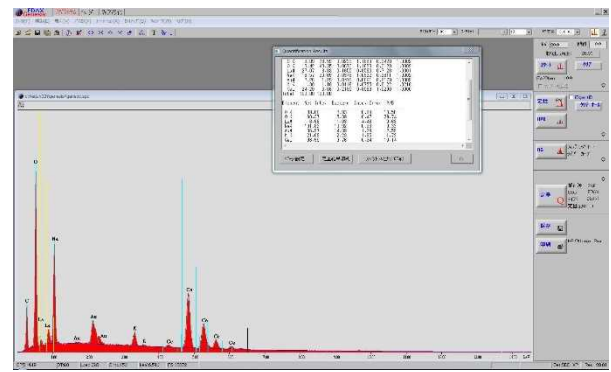


図5、母液のEDS分析結果

EDS分析の結果に関しては、強磁性体の方は鉄が約80%と最も多く、次にチタン、酸素の順番に多かった。その他には炭素、アルミニウム、ケイ素などが含まれる。

母液は、ランタンが約30%と最も多く、次にセリウム、酸素の順に多かった。他には炭素、ナトリウム、金、カリウムが含まれている。

3. 疑似MRF装置の作成

3-1 加工図面の作成とモーターの回転数調整

選定した材料の加工図面を「SOLIDWORKS 2022」で作成し加工工房や院生の方に依頼をした。

加工図面は以下の図の通りである。図6は板金の穴あけの加工図面、図7は金属ブロックの穴あけの加工図面である。

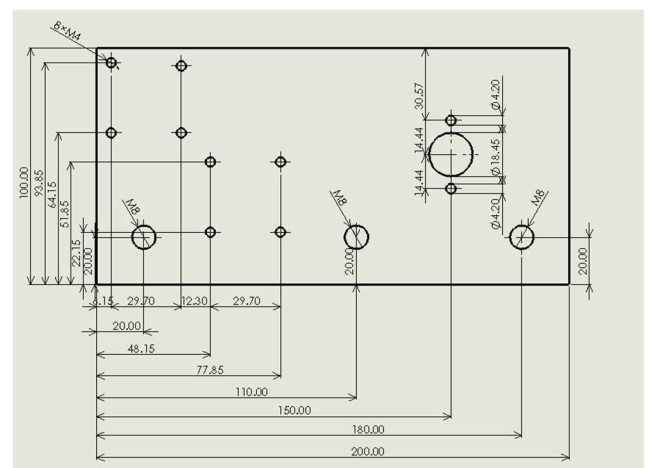


図6 板金の穴あけ図面

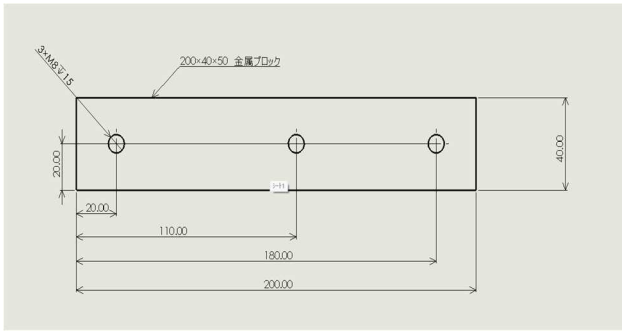


図7 金属ブロックの穴あけ図面

購入したモーターの最低回転数は4500rpmだったが、三共光学株式会社のMRFの1200rpmに合わせるため、プーリーの減衰比を利用し1250rpmまで近づけることが出来た。

$$4500 \times \frac{18}{48} \times \frac{18}{23} \approx 1321rpm$$

計算式上では1321rpmだが摩擦などの減衰により1250rpmになっていたと考えられる。

(回転数を測る機械により測定)

3-2 磁石の設置と放電加工

下の図8は放電加工の図面である。磁性流体を球体が回転する方向に満遍なく纏わせるために高さ5mmの磁石を中心にいれる溝を放電加工により作成した。

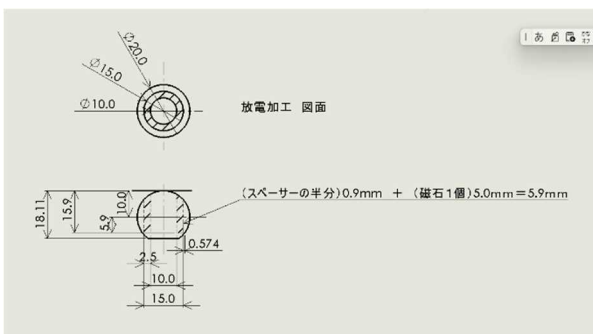


図8 放電加工の図面

3-3 疑似MRFの完成

上記の加工図面により加工してもらった材料や他に購入した材料を組み立てて完成したMRFを次の図9に示す。

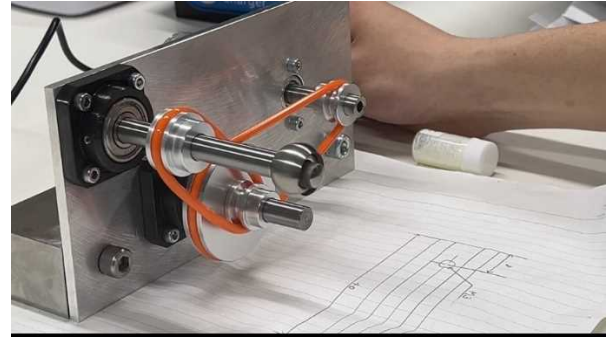


図9 疑似MRFの写真

4. 研磨

4-1 モデルによる研磨

磁性流体を球に纏わせて、実際に約1分間ガラスを研磨している場面を図10に示す。

ガラスは手で球に送っており、白い紙は磁性流体が飛び散ってしまうことを考慮して上にかぶせるようにしている。



図10 疑似MRFによる研磨

4-2 モデルによる研磨の表面粗さ

以下の写真の赤線で囲った場所が研磨された部分であり、図11、図12とする。

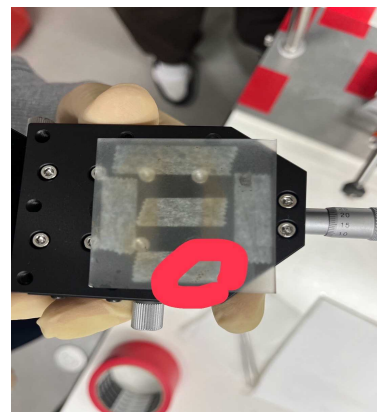


図11 研磨していない部分

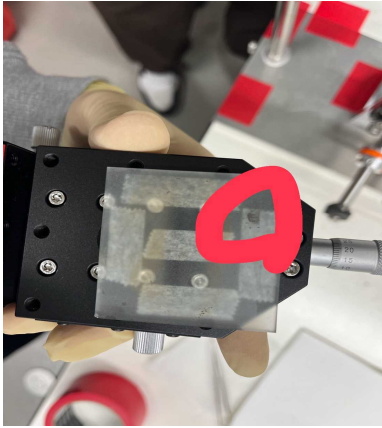


図 12 研磨を行った部分

また、研磨した部分を非接触三次元形状測定装置で表面形状を測った結果を以下の図 13、図 14 とする。

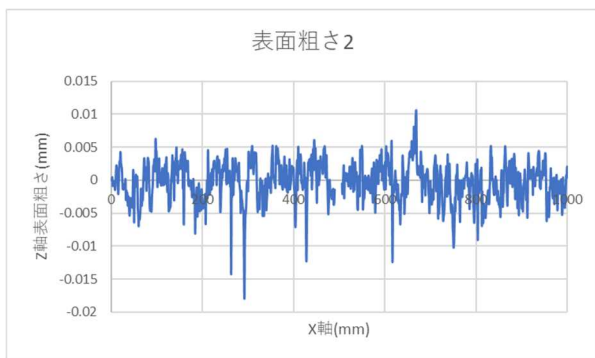


図 13 非研磨部分の表面形状

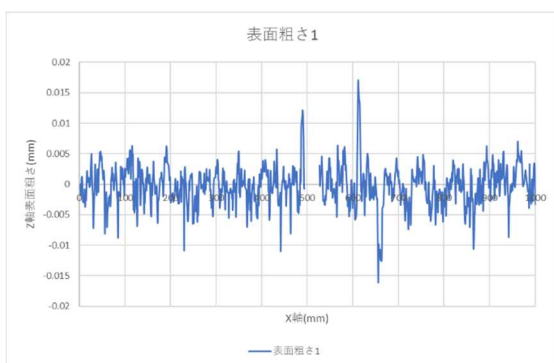


図 14 研磨部分の表面形状

結果としては、磁性流体は付着したが削れていないことが分かった。

5. 結果と考察

結果的に三共光学工業の実物の MRF のように研磨をすることはできなかった。その原因として、磁性流体の粘度が大きすぎたこと、球

の付いたシャフトのねじが緩かったため外れやすくなってしまったこと、研削物に対してワークを適切な距離まで近づけられなかったことが挙げられる。改善方法として、粘度調節をもっと時間をかけて行うこと、細目ねじのシャフトを使用すること、プログラミングを施したり、ワークの送りを機械で行ったりすることがあげられるのではないかと考えられる。また材料の選定では、0.1mm ほどの公差を無視して購入した結果、ゆるくなり回転が伝わらなかった。はめ合いや寸法公差について、できる限りずれが小さくなるものを選び、ねじ穴を開け、ねじで固定したりすることで解決した。

6. 終わりに

今回の研究では三共光学株式会社にて MRF や研磨工程の見学をし、MRF のモデルを材料の選定・設計をした。その後、実際に動かして研磨の性能を調べた。材料選定、設計を行う上で、1 からモノづくりをする大変さを知ることができた。また SOLIDWORKS での設計技術の向上や、公差や機械的運動、研磨技術について理解を深めることができた。結果としては設計や強度の不十分さ、粘度調整のミスなどで、研磨をうまく行えなかったが、この研究を通して自分たちのスキルアップにつながられたと思う。

参考文献

- 山口博司 (2011). 磁性流体. 森北出版
- 大西 清 (2023), JIS に基づく機械設計製図便覧 (第 13 版)

使用ソフト

SOLIDWORKS2022