

超精密工作機械用磁気フィルターの開発

山本 誠^{*1} 山田岳大^{*2} 長塚孝二郎^{**}

Development of Magnetic Filter for Superprecision Machine Tool

YAMAMOTO Makoto^{*1}, YAMADA Takehiro^{*2}, NAGATUKA Koujirou^{**}

抄録

放電加工機の高精度を維持するためのろ過体に、交換・再生可能な磁気フィルターを開発することを目的として、磁場雰囲気下でろ過体に磁場を与え、金属微粒子の捕集を行った。その結果、金属繊維をろ過材に使用することによって以下のことが明らかとなった。

- 1) 強磁性体の微粒子 (0.5 ~ 10.0 μm) をワンパスで 100% 捕集可能となった。
- 2) 常磁性体の微粒子 (1.0 ~ 6.0 μm) をワンパスで約 80% 捕集できた。
- 3) 銅、亜鉛を含む回収スラッジをワンパスでそれぞれの成分を約 80% 捕集した。

キーワード：工作機械，ろ過，磁気，フィルター，金属繊維

1 はじめに

本研究は、工作機械の高精度化の要素技術のひとつである加工潤滑液を取上げ、その高効率な浄化・再生システムの高性能化を目指すものである。現在の加工潤滑液の浄化は、工作機械に取り付けられたペーパーフィルターをろ過体を使用しているが、ろ過性能やフィルターの交換に問題を抱えている。本研究の対象とするフィルターは、磁気を利用した高効率なフィルターを製品化し、ペーパーフィルター以上の高精度ろ過を可能にする自動再生型ろ過装置を工作機械に組み込み、超精密工作機械を高付加価値化するものである。

2 実験方法

2.1 フィルター形状

フィルターの形状・寸法を図1に示す。ここ

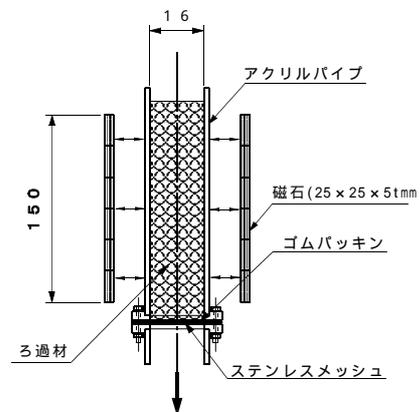


図1 フィルターの形状・寸法

では、内径 20mm のアクリルパイプにろ過材を 180mm 充填 (容積: 36.2cm³) し、アクリルパイプの外周部から磁場を与えた。磁場は、ネオジウム磁石 (25 × 25 × 5mm) をフィルターの長さ方向に 6 個連結させ、幅方向から磁束を与えた。この磁石をフィルターに近づけたときの磁場強度は、パイプ内中央付近で最大 2,000 ガウスであった。測定は、(株)エーデーエス社製ガウスメーター HGM-8300 型を使用した。

同図のフィルターは、上部からろ液を流し込み、

^{*1} 材料技術部

^{*2} 生産技術部

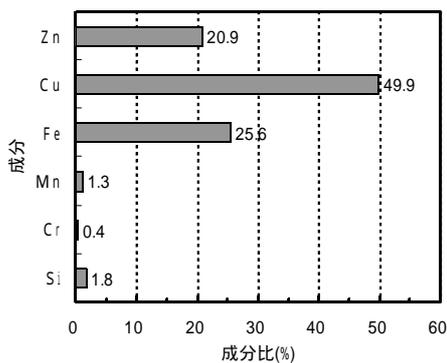
^{**} (株)忍足研究所

ろ過材を通過するときろ液中の金属微粒子が捕集されるもので、このときフィルター下部には、ろ過材を支持するためステンレスメッシュ（厚さ：約 90 μm、メッシュサイズ約 400×900 μm）をゴムパッキンで挟み込んだ。

2.2 ろ液

ろ液には、強磁性体の四三酸化鉄、常磁性体のアルミナ及び主に金型加工している放電加工機のフィルターから回収したスラッジ（以下、回収スラッジ）を使用した。四三酸化鉄（関東化学（株）：20073-01）は、平均粒子径 3.0 μm、粒子径範囲が約 0.5 ~ 10.0 μmのものをを用いた。ろ液の濃度は、純水 1.0L 中に 250mg の試料を攪拌し調整した。調整した試料はフィルターに流し込む前に、再度攪拌してから使用した。アルミナ（マイクロン社製；AX1-15H）は、平均粒子径 1.2 μm、粒子径範囲が約 1.0 μm ~ 6.0 μmのものをを用いた。ろ液の濃度の調整は、四三酸化鉄と同様である。回収スラッジは、次項に記す方法によりろ過した試料を蛍光X線分析装置（日本電子社製：JSX-3200）によりその成分を分析した。分析結果を図2に示す。粒度は、粒度分布測定装置（島津製作所社製：SALD-3100）を使用して、約 250ppm に調整した試料（500mL）で測定した。

図2 回収スラッジの成分比



2.3 ろ過材

ろ過材には、強磁性体の金属繊維（日本ガラスファイバー工業（株）製ステンレスウール：SUS434（以下、Fタイプ））及び日本スチールウール（株）製スチールウール Fe（以下、SFタイプ）と粒状

カットワイヤー（東洋精鋼（株）製：SUS430（以下、Cタイプ））を使用した。金属繊維は、繊維径の異なるろ過材により、Fタイプは 80 μmと 120 μmをそれぞれ F80、F120 とした。SFタイプは 35 μm、50 μm、70 μmをそれぞれ SF35、SF50、SF70 とした。Cタイプは、粒径が 0.6、1.0、1.5mm を使用し、それぞれ C0.6、C1.0、C1.5 とした。

以上のろ過材を、図1に示すフィルター内に定量充填した。充填量は、Fタイプが 11.3g/本、SFタイプが 17.3g/本、Cタイプは C0.6 で 172.9g/本、C1.0 で 175.3g/本、C1.5 で 179.9g/本とした。ここで、それぞれのろ過材の重量は、図1に示すように一定容積中（36.2cm³）に充填できる量を測定した。

2.4 測定方法

ろ過方法を図3に示す。ろ過は、調整したろ液を十分攪拌し、同図に示すポンプ（ヤマト科学（株）製、型式 7523-00）を使用し、200mL/min の流量でフィルター内に供給した。ろ液は 1 条件で 2,000cc ろ過した。このときの磁場は、磁場下でろ過するとき、フィルター内の磁束密度が一定になるようフィルターの外周部に磁石を平行に設置した。各フィルターは 1 条件ごとに交換した。

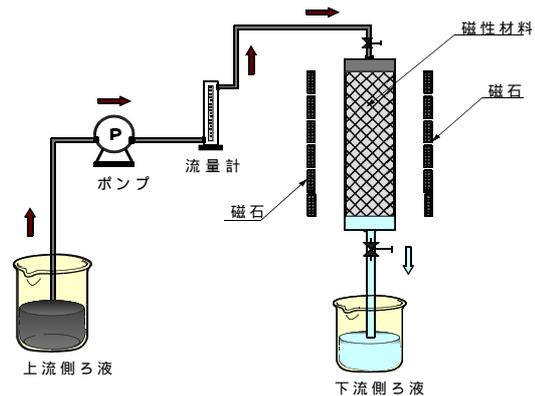
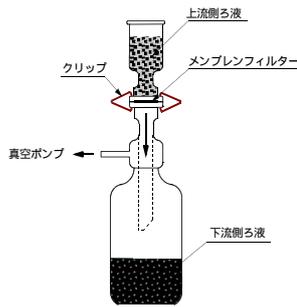


図3 ろ過方法

ろ液は、ろ過前の上流側とろ過後の下流側から採取した約 100cc を図4に示す方法で、メンブレンフィルター（アドバンテック東洋（株）社製：A010A047A）にろ液中の金属微粒子を捕集した。ろ液中の金属微粒子の除去率は、上流側と下流側のそれぞれのろ液から、図4の方法で捕集したフ

フィルター重量を測定して求めた。なお、メンブレンフィルターは、ろ過前に 90 の雰囲気中で、60min 間放置後、室温のデシケーター内で 60min 養生したときの



重量を求め、ろ過 図4 ろ液中微粒子の捕集方法後も同様に 90、60min 水分を除去した後、室温のデシケーター内で 60min 養生し、フィルターに捕集されている微粒子の重量を求めた。

ろ液の成分分析は、上流側と下流側のろ液に分散している成分分析をするため、図4で捕集したメンブレンフィルターに付着している微粒子を、カーボンの両面テープで約 20 × 20mm の面積を転写し、試料を作製した。試料は、厚さ 5 μm のポリエステルシートで試料を被覆して蛍光 X 線分析装置で分析した。

3 結果及び考察

3.1 ろ過材と除去率

3.1.1 四三酸化鉄

ろ過材に F80、SF35、C0.6 を使用したときの除去率を図5に示す。その結果、磁場を与えないでろ過した場合は、SF35 を使用したろ過材が最大の除去率を示し、ろ液に分散している金属微粒子を約 98.1%除去した。F80 と C0.6 は、それぞれ 46.6%、34.5%となった。このことは、ろ液に分散している粒状物質が強磁性体の四三酸化鉄の場合は、フィルター内の空隙部分が他のフィルターよりも密になっているSF35(繊維径: 35 μm)が、フィルター内で物理的に捕集したためと考えられる。一方、磁場下でろ過したときの除去率は、同図に示すようにそれぞれのろ過材を使用したフィルターは 100%粒状物質を除去することが判明した。磁場下でろ過したときの除去率と磁場を与えないときの除去率の比較(増減比)をすると、F80、SF35、C0.6 のろ過材を使用したフィルター

は、それぞれ 2.22、1.17、2.98 となった。

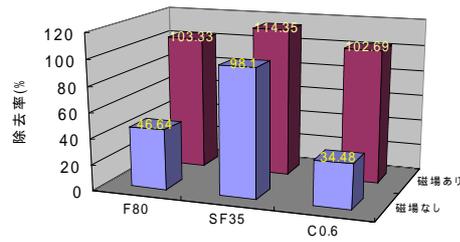


図5 四三酸化鉄の除去率

したがって、ろ液中に分散している強磁性体は、ろ過材に強磁性体を使用した場合、ろ液が通過するフィルター内を磁場雰囲気にすることによって捕集できることが明らかとなった。以下、磁場雰囲気下で除去された増減比を磁場効果として記す。また、同図に示す C0.6 のろ過材を使用したフィルターのように、磁場を与えないときの除去率(34%)と磁場下での除去率(103%)に大きな差が生じるフィルターは、磁場下でフィルター内に留まっている粒状物質が脱磁によって、回収されるものと考えられる。更に、この現象は目詰まりしたフィルターの再生も可能になることを示唆している。

3.1.2 アルミナ

ろ過材に F80、SF35、C0.6 を使用したときの除去率を図6に示す。その結果、磁場を与えないでろ過した場合は、C0.6 を使用したろ過材が最大の除去率を示し、ろ液に分散している金属微粒子を約 62.7%除去した。F80 は、ろ液中の微粒子の除去率は低く、5.2%となった。SF35 は、25.9%

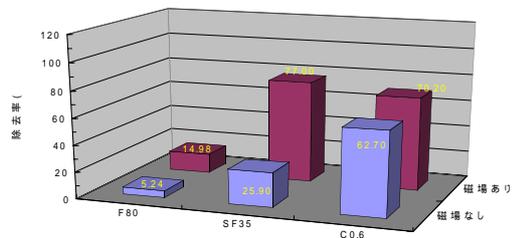


図6 アルミナの除去率

となった。金属繊維をろ過材に使用したF80 とSF35 の場合は、アルミナの平均粒子径が1.2 μmと小さいため、金属繊維の細いSF35のろ過材を使用

したフィルターに、微粒子がより多く捕集されたものと考えられる。図6に示す結果からも磁場を与えない場合は、除去率は異なるものの同じ傾向となった。ところが、C0.6のろ過材を使用したフィルターは、ろ液中に分散している微粒子の小さいアルミナのほうが、平均粒子径の大きな四三酸化鉄(3 μm)より、多く除去する結果となった。このことは、アルミナの場合、フィルター内をろ液が通過するときにアルミナ自身が凝集することによって捕集されたものとも考えられるが、再考の余地がある。

一方、磁場を与えたフィルターでは、金属繊維の最も細いろ過材を使用したSF35が77.0%の除去率となった。C0.6が70.2%で、F80が15.0%となった。このときの磁場効果は、除去率の高い方から、それぞれ2.98(SF35)、2.86(F80)、1.12(C0.6)となった。F80は、磁場効果としての値は高いものの、初期値が低い(磁場を与えないときの除去率)、フィルターとしての性能は低い。

前項の結果と合わせると、磁場を与えないときのフィルターは、ろ液中の微粒子のサイズが異なるため一概には比較できないものの、ろ液中の強磁性体(四三酸化鉄)はろ過材として使用した金属繊維に、より多く捕集されるが、常磁性体のアルミナは粒状のろ過材(この場合C0.6)により多く捕集される結果となった。磁場を与えたときは、いずれのろ過材(F80、SF35、C0.6)も強磁性体(四三酸化鉄)の微粒子をほぼ捕集することができるが、F80のようなろ過材は磁場下であっても、常磁性体(アルミナ)を捕集できないことが明かとなった。

3.1.3 回収スラッジ

ろ過材にF80、SF35、C0.6を使用したときの除去率を図7に示す。磁場を与えないでろ過したフィルターの除去率は、SF35のろ過材を使用したものが最大となり、ろ液中に分散している微粒子を約50%捕集した。F80とC0.6のろ過材を使用したフィルターの除去率は、それぞれ33.7%、21.0%となった。

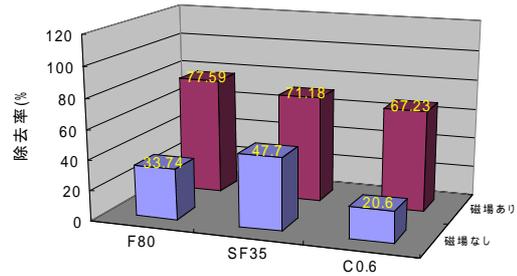


図7 回収スラッジの除去率

磁場を与えたときの除去率は、F80が最大となり77.6%となった。SF35とC0.6のろ過材を使用したフィルターでは、それぞれ71.2%、67.2%となった。磁場効果は、ろ液に回収スラッジを使用した場合、磁場を使用しないときよりF80、SF35、C0.6のフィルターでは、それぞれ2.30倍、1.49倍、3.26倍となった。この場合も図5の結果と同様に、捕集した微粒子の回収を意図したフィルターには、磁場の脱磁によってフィルターの再生機能が生じることから、C0.6のような磁場効果の大きいろ過材を使用することが好ましい。

3.2 磁場の効果

3.2.1 ろ過材別磁場効果

前項までの結果から、磁場を与えたときの除去率と磁場を与えないときの回収スラッジの除去率を図8に示した。同図は、「磁場あり」が磁場を与えたときの除去率を示し、「磁場なし」が磁場を与えないときの除去率を示した。棒線上のそれぞれの値は、磁場を与えないときの除去率と磁場を与えたときの除去率の増減比、ここでいう磁場効果を記してある。その結果、磁場を与えたときの除去率は、F80が最大となり77.6%となった。次いで、SF35、C0.6、F120の順となり、それぞれの除去率は71.2%、67.2%、63.0%となった。SF35の磁場を与えないときの除去率は、47.7%であるが、磁場を与えたときで71.1%の除去率を示すものの、その磁場効果は1.41と小さい。したがって、フィルター内に捕集した微粒子を脱磁によって回収できる量が少ないものと推察される。

以上の結果から、F80、F120、C0.6のろ過材を

用いたフィルターを使用することによって、約 60 ~ 80%の微粒子を一回の処理で除去できるとともに、脱磁による捕集した微粒子の回収ができる可能性が明らかになった。

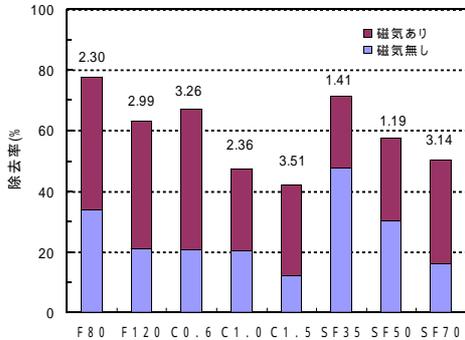


図8 回収スラッジの除去率と磁場効果

3.2.2 回収スラッジの成分別ろ過性能

Fタイプの金属繊維を使用したフィルターの除去性能を図9に示す。同図の、印は、フィルターに磁場を与えない状態でろ過した結果を示す。ここで、80 μmの金属繊維(F80)をろ過材に使用した四三酸化鉄の実験結果(図5)では、磁場を与えないときでその除去率が47%となり、磁場を与えたときで約100%となったものの、図9の結果(80 μm)では磁場のないときのFe成分の除去率が36.4%で、磁場を与えたときが80.0%となった。この結果は、単独で強磁性体の微粒子を含む水溶液をろ過した場合、その微粒子をすべて捕集することは可能となったが、常磁性体と混在した強磁性体の微粒子の一部は捕集されないこととなった。

全体の傾向は、分散している成分による差はみられず、磁場を与えないフィルターは、繊維径が細いろ過材(F80)を使用した除去率が34.0%~36.4%で、F120を使用したフィルターの除去率が21.8%~23.8%の範囲であった。磁場下にあるフィルターは、F80及びF120いずれもろ液中の成分除去が約80.0%で、金属繊維の径による依存性は確認できない。磁場を与えたときの除去率の比較は、F80で2.2倍~2.29倍、F120で3.31倍~3.58倍となった。ここでは、脱磁による回収を行う場合、F120のろ過材がそれぞれの成分を均一に捕集していることと、磁場による捕集効率が高いた

め、本フィルターに使用するろ過材としては有効であるといえる。

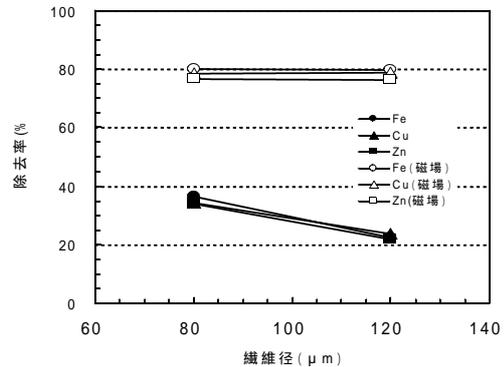


図9 ろ液中の成分除去率(Fタイプ)

4 まとめ

金属微粒子を捕集する技術には、円筒状のチューブ内に球状の磁石を入れ、チューブ内に流れる微粒子をろ過する技術¹⁾や強磁性体と常磁性粉体を混合したのち、焼結させてフィルターに利用する技術²⁾がある。いずれも常磁性体の微粒子除去やフィルターとしての作製コストに問題を抱えている。本研究では、これら問題を解決できる可能性を明らかにした。以下に、磁場雰囲気下で金属繊維を利用したときの捕集性能を記す。

- (1)強磁性体の微粒子(0.5 ~ 10.0 μm)をワンパスで100%捕集可能となった。
- (2)常磁性体の微粒子(1.0 ~ 6.0 μm)をワンパスで約80%捕集できた。
- (3)銅、亜鉛を含む回収スラッジをワンパスでそれぞれの成分を約80%捕集した。

参考文献

- 1) 株)ミヤデン：液中の金属粉の除去及びその装置及びその磁気フィルターエレメント、特開平08-141433
- 2) 日立金属(株)：磁気フィルター、特開平09-47615