

日本産業機械工業会会長賞

「マグネットセパレータ（ファインマグ）」

住友重機械ファインテック株式会社

1. 装置の詳細説明

本装置は液体内の微細磁性金属粉を固液分離し、脱水を行う装置である。固液分離装置としては一般的にはフィルタ装置や遠心分離装置が挙げられるが、本装置はそれらの装置と比べ微細金属粉の連続分離と脱水が可能であること、ろ材を必要としないこと、省電力、省スペースといった面で優れている。

近年、工作機械で使用される各工具は長寿命化が求められており超硬工具の生産量が増加している。超硬はレアメタル（タングステンカーバイド及びコバルト）が主な原料であることから工具メーカーでは資源（超硬工具製造工程で発生する超硬研磨微細粉）の有効活用のためリサイクルが推進されている。しかし超硬研磨微細金属粉は磁性が弱く、従来マグネットセパレータによる固液分離が難しいことから、フィルタ装置によるろ過や沈殿方式による固液分離を行っている場合が多く、メーカーによってはリサイクルを行わず産業廃棄物として処分されることもある。

本装置は従来マグネットセパレータの利点を生かしつつ、磁力を2倍の0.9 Tまで高めることで超硬微細金属粉の回収が可能となった。

(1) 本装置の構成

本装置の構成を図1に示す。本装置は機能別に以下5つで構成される。

1) マグネットドラムユニット

液体内に浮遊する微細金属粉をマグネットドラム内部に装着された永久磁石によってマグネットドラムの外筒に吸着させ、常時回転している外筒によって微細金属粉を液面から外に搬送し固液分離する（図2参照）。

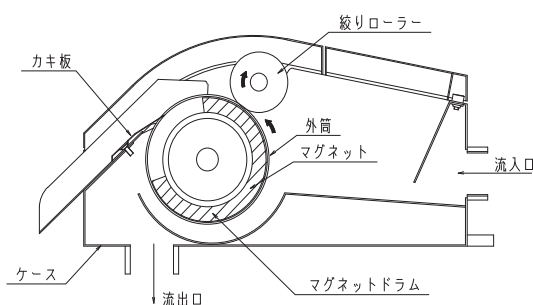


図1 マグネットセパレータ構造

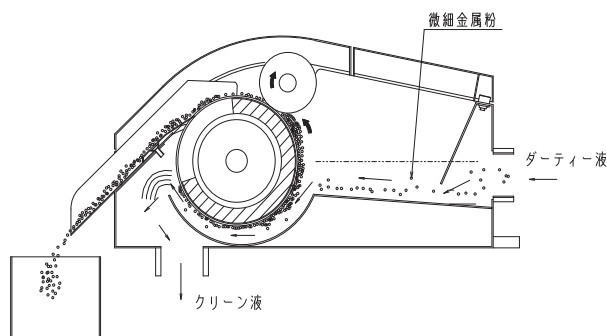


図2 微細金属粉回収

2) 絞りローラユニット

微細金属粉に含まれる水分をマグネットドラムと絞りローラ間を通過させることで脱液する。

3) 駆動ユニット

小型インダクションモーターの動力を駆動チェーンユニットでドラムに伝達する。

本装置の駆動ユニットはピンギヤ方式を採用しており駆動部品の脱着が容易な構造となっている。

4) カキ板

ドラムによって搬送されてきた微細金属粉をマグネットドラムから分離する。

5) ケース

すべてのパーツを構成する筐体。

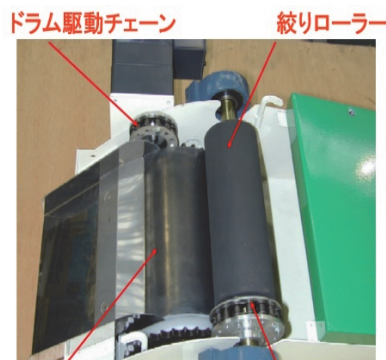


写真1 マグネットセパレータ構造

(2) 固液分離機能の原理

1) マグネットと鉄粉との間に働く吸引力

$$F_m = V_p \cdot C \cdot B \cdot dB/dX \cdot \dots \cdot (1)$$

F_m : 吸引力

V_p : 粒子体積

C : 係数

B : 空間磁場の強さ

dB/dX : 距離に対する磁場の変化率

式において吸引力は空間磁場の強さ B と変化率 (dB/dX) の相乗積に対して比例関係にある。よってマグネットの形状や配列については相乗積が大きくなるよう設計を行っている。空間磁場の強さと空間磁場の変化率は反比例の関係にある。本装置はドラム表面から最遠距離における磁場を高めることで吸引力を高める設計を行っている。

2) 流体内での粒子の流体抵抗

$$F_d = C \cdot A \cdot (\rho v^2 / 2) \cdot \dots \cdot (2)$$

ニュートン抵抗則

C : 抵抗係数でレイノルズ数の関数

$$Re = D_p \cdot v_p / \mu \cdot \dots \cdot (3)$$

D_p : 粒子直径

v : 流体速度

ρ : 流体密度

μ : 粘性係数

A : 粒子の投影面積

層流域	$10^{-4} < 0.3$	:	$C = 24/Re$
中間域	$2 < Re < 500$	:	$C = 10/\sqrt{Re}$
乱流域	$500 < 10^5$	:	$C = 0.44$

3) マグネットが粒子を吸引する条件

マグネットに粒子が吸引する条件は（４）式のとおりとなる。

$$\boxed{F_m > F_d} \dots\dots\dots (4)$$

（３）構造

1) マグネットドラム

マグネットドラムは外筒、主軸、端円板、マグネットホルダ、マグネット、ヨークで構成されており端円板にはラジアルベアリングとオイルシールが装着されている。マグネットはマグネットドラム頂点から 3/4 装着されており外筒と端円板が回転しマグネットは固定され回転しない。

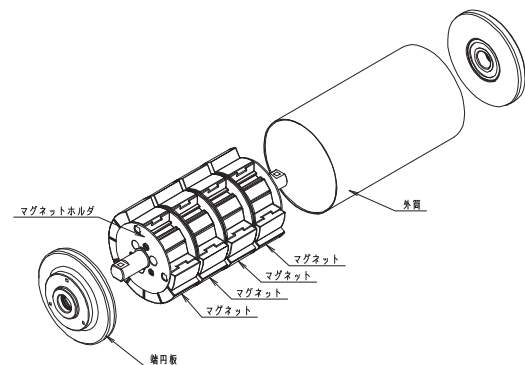


図３ マグネットドラム構造

①特徴

- ・外筒は SUS304 磨きパイプを使用しており、窒化処理により 1200 HV まで硬度を高めている。そのため傷が入りにくく長期的に安定した性能が維持できる。
- ・マグネットは固定されており回転せず外筒と端円板が回転する。
マグネット固定により、カキ板はマグネットが無く磁場は発生しない部分で機能するため、磁性金属粉をドラムから分離する際負荷が少なく掻きとり効率が良い。また、絞りローラ近郊はマグネット配列により磁力線を円周方向に向かって飛ばすようにマグネットを配置しているため、絞りローラへの微細金属粉による刺さりが少なく脱水機能低下が少ない。
- ・高磁力化
マグネット配列は円周方向に隣り合うマグネットが同極となっており、その間には強磁性材料のヨークが装着されている。そのことにより隣り合うマグネットの磁気エネルギーはヨークに集中することとなりドラム表面に高い磁力を発生させることができる。

2) 絞りローラ

絞りローラは反発弾性力の高いゴム材質を使用しており、絞りローラとマグネットドラム間に高い圧力をかけることができる。

絞りローラの角度はマグネットドラム頂点から約 35° 傾いた状態でドラム中心に向かって圧力が掛かる構造で、掛けた圧力に対し力が分散しにくい。絞りローラを 35° に傾けることにより、脱水された液体はドラム下部に流れやすくなっている。

3) 絞りローラ強制駆動

ドラム側面に配置されたスプロケットと絞りローラに設置されたチェーンユニットにより、

絞りローラは強制的にマグネットドラムの周速と一致する構造となっている。マグネットドラムに微細金属粉が吸着し、マグネットドラム表面の摩擦係数が小さい状態でも絞りローラはスリップしない構造となっている。そのため偏摩耗が発生しにくく長期間安定した脱水性能を維持することができる。

4) カキ板

への字形状となっており、マグネットドラムによって搬送された微細金属粉はカキ板の弾性力によってマグネットドラムに常時一定の圧力を掛けて接触する。そのため掻きとり性能が高く掻きとり効率が良い。

5) フレーム

すべてのパーツの筐体。大部分のパーツはオーステナイト系ステンレスで製作しており錆びにくく磁力の影響を受けない。駆動系部品の摩耗防止のため液体の流路と両端の駆動部品スペースには仕切りを設けている。

2. 開発経緯

(1) 開発趣旨

超硬材料研削加工で発生する微細金属粉（タングステンカーバイド、コバルト等）の回収装置としてろ材を必要としない、連続処理が可能なマグネットセパレータを開発する。

(2) 背景

国内で使用される希少金属（レアメタル）の多くは中国で発掘され先進国に出荷されている。しかし発掘の際、多くの自然が破壊され地球環境に大きな影響を与えている。そのため金属加工業界では加工により発生した超硬微細金属粉を回収し、リサイクル活動が行われている。

しかしフィルタによる回収はリサイクル率が低くろ材の産業廃棄物も発生する。そのため、マグネットセパレータによる超硬微細金属粉の回収装置を開発した。

(3) 目標

超硬研磨市場において産業廃棄物が出ない超硬回収装置を提供する。

(4) 経緯

2013 年 4 月～2013 年 9 月	反発磁気回路式マグネットセパレータの設計実施
2014 年 4 月～2014 年 7 月	試作用反発磁気回路マグネットドラム組立治具製作
2014 年 7 月～2014 年 10 月	社内テスト実施
2015 年 2 月～2015 年 6 月	工具メーカー3 社でモニター開始
2015 年 9 月	本装置販売開始 第 1 号機納入
2016 年 4 月	メンテナンス性向上のため一部部品修正

3. 独創性

(1) 反発磁気回路の採用

従来のマグネット配列は、マグネットドラム中心方向に極性を持たせており、マグネットドラム中心に対し円周方向に異極のマグネットを配置している。その場合、マグネット組立が容易といったメリットはあるが大幅に磁力を高めることはできない。マグネットドラムの磁力を高める手段としてマグネット配列を変更し反発磁気回路を採用した（図4参照）。

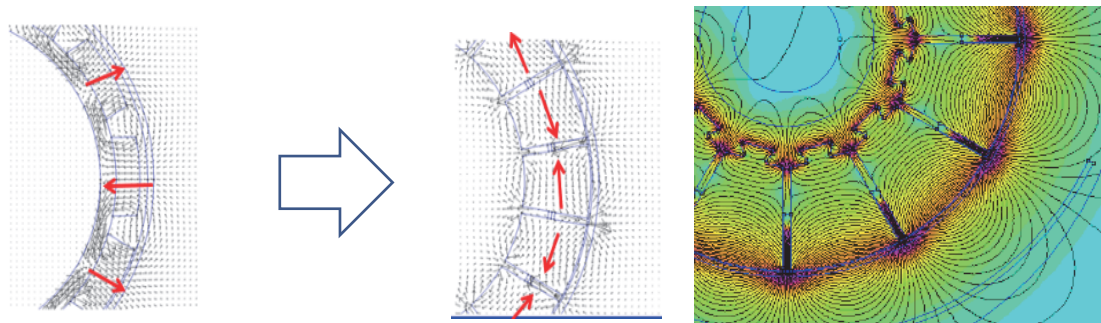


図4 従来マグネットセパレータのマグネット配列から反発磁気回路への変更

4. 特許の有無

次のとおり、特許5件を取得済み。

特許番号：第4785913号 / 名称：回転ドラム型磁気分離装置

特許番号：第4948514号 / 名称：回転ドラム型磁気分離装置

特許番号：第5143300号 / 名称：回転ドラム型磁気分離装置

特許番号：第6218390号 / 名称：回転ドラム及び回転ドラムの製造方法

特許番号：第6774734号 / 名称：回転ドラム型磁気分離装置

5. 性能

(1) 磁性金属粉回収性能

社内研削盤で従来マグネットセパレータ(K)と本装置(UK)の性能比較を実施し、JIS B 9930 準拠（計数法）、JIS B9931 準拠（質量法）で評価を行った。

テストは水溶性クーラント液を使用し、研削物は炭素工具鋼(SK3)を円筒研削盤で研削量が一定になるようにトラバースさせて研削し、マグネットセパレータ通過前の液(ダーティー液)と通過後の液(クリーン液)をそれぞれ採取し平均値をグラフ化した。

図5は計数法による結果で、5 μm ~100 μm 以上の粒子をそれぞれ5段階に分け画像処理で各個数を計測した。ダーティー液の粒子別個数に対し、クリーン液の粒子別個数の割合を従来マグネットセパレータ(K)と本装置(UK)でグラフ化している。

図6はダーティー液とクリーン液のサンプル濃度を測定し、ダーティー液に対しクリーン液の割合をグラフ化している。

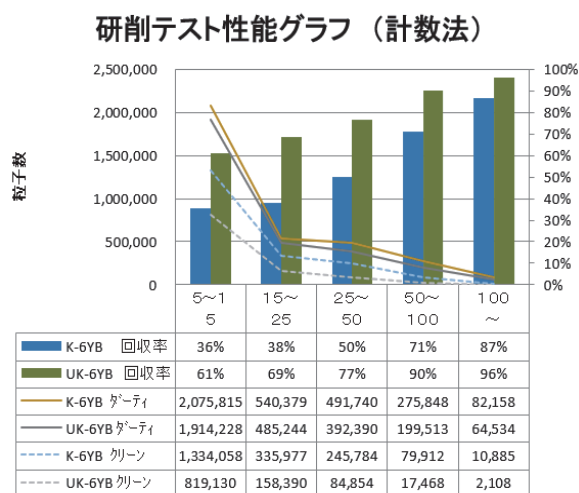


図5 計数法による微細金属粉回収率比較

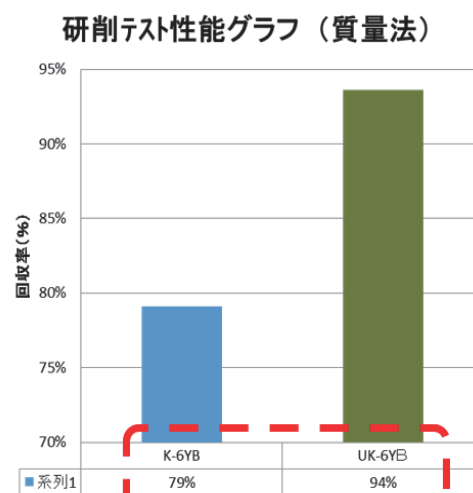


図6 質量法による微細金属粉回収率比較

写真2は微細金属粉（四三酸化鉄 平均径 3.4 μm ）の回収テスト状況写真である。視覚的に本装置を通過する液体の状態が分かるようにケースを透明アクリルで製作し内部を確認できる構造としている。右端の流入箱には四三酸化鉄濃度 0.05 wt%の濃度の黒く濁った液体が常時約 10 L/min の流量で流入しており、同流量がマグネットセパレータに流入している。本装置により固液分離された液体はマグネットセパレータ下部の箱に透明になって流出している。写真3では本装置によって微細金属粉が脱水され回収されていることが分かる。

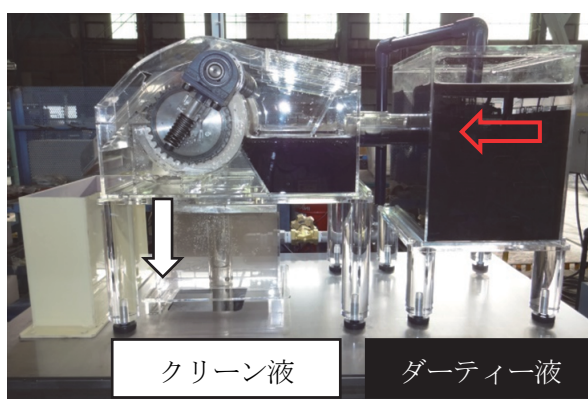


写真2 微細金属粉（四三酸化鉄）による実験

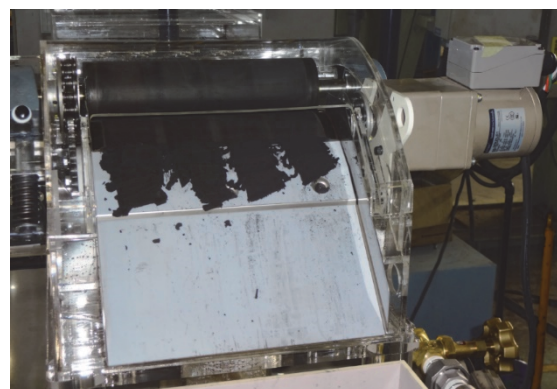


写真3 微細金属粉（四三酸化鉄）回収

6. 経済性

○社でのモニター実施 1 か月間の有価物超硬微細金属粉回収量を計測した結果、超硬微細金属粉の回収量は約 15 kg/月、有価物としての買い取り単価は当時 1,400 円/kg であったことから、月当たりの買い取り価格は $15\text{kg} \times 1,400 \text{ 円} = 21,000 \text{ 円}$ となる。年間では $21,000 \text{ 円} \times 12 \text{ か月} = 252,000 \text{ 円/年}$ となる。結果、本装置の購入投資に対し 3.5 年で回収可能と判断できた。

フィルタ装置では、フィルタ費用に年間 97,440 円（フィルタ単価 2,030 円）、フィルタ取り替えに 0.5 時間の人件費、使用済みフィルタの産業廃棄物処理費用とランニングコストがかか

っていた。本装置導入後、超硬微細金属粉が脱水された状態で回収できることから、手間がかからない点を評価いただけた。また、本装置で回収された超硬微細金属粉は「純度が高い」「脱水された状態」であることから、有価物として価値が高くなり経済性の面で効果があることが分かった。



7. 将来性

採掘や製錬による地球環境破壊を低減させ、レアメタルやその化合物を長期的かつ安定的に産業に供給する上でレアメタルのリサイクル活動は今後も各企業で推進されると思われる。

本装置は従来のフィルタ装置と比較し「生産性向上」「ローコスト」といった観点から「回収した超硬微細金属粉の脱水不要」「連続処理が可能」「フィルタ交換不要」「回収した超硬微細金属粉に不純物が混在しにくい」といった利点があり、今後各企業に対しレアメタルのリサイクル活動で役立つ装置になると考える。