

磁気ディスク部品 精密洗浄技術



SPEEDFAM CLEAN SYSTEM CO.,LTD.

1. HDD (Hard Disk Drive) 部品洗浄装置への要求機能

HDD は年数回も記録容量を向上させた新製品が発売される一方で、売価は上がらない。従って、厳しいコスト削減努力の中で、洗浄装置にも下記のような厳しい要求が課せられている。

- ① 1台の洗浄装置で、多様な形状と材質の HDD 部品全種類を洗いたい。
- ② 金属加工時（特にネジ穴内）の研削液、アウトガスの発生源となる有機物質、ヘッドをクラッシュさせ得る微粒子を除去したい。
- ③ 凹みやネジ穴のある複雑形状で、耐熱性の低い樹脂部品も組み込まれた複合パーツを、十分に乾燥させたい。
- ④ 処理量が多く、フットプリントが小さく、安価な洗浄装置にしたい。

1980年代には、シャワー洗浄や、フロン 113 を用いた超音波洗浄装置でも、当時の洗浄品質要求を満たすことが出来た。しかし、特定フロンの全廃で、水系洗浄への代替が進んだ。

2. HDD 部品洗浄装置のプロセス

現在の洗浄要求に対応するには、バッチ式多槽超音波洗浄装置が用いられるのが普通である。洗浄籠に部品を入れて、洗浄・乾燥を自動搬送で行う。一度になるべく沢山の部品を洗う為、洗浄籠は人が普通に運べる最大限の大きさである 400~700mm 角と大き目にすることが多く、そこに各種部品を入れて超音波洗浄する。

除塵効果を高め、油分を除去し、且つ軽金属部品を侵さないよう、洗浄溶媒にはノニオン系界面活性剤を用いる。リンスには、工場現場で容易に精製して大量供給できる純水を用いる。リンスをする前に、部品の凹凸部に溜まって持ち出される洗浄溶媒を回収する為、エアブローしてから浸漬超音波槽でリンスすることも多い。

HDD 部品は形状雑多で凹みやネジ穴が開いており、これらの穴や隙間の気泡を追い出し、洗浄溶媒を導かないと、気泡の残った部分が洗浄溶媒に触れず洗えない。また、これらの穴や隙間に入った洗浄溶媒も充分リンスされない。洗浄溶媒が洗浄ワークに残ると、その成分がアウトガスとして揮発し、ドライブの故障原因になり得るので、充分にリンスされなければならない。

そこで、洗浄籠が洗浄溶媒に浸かったら、最初に洗濯機のように強い水流（噴流）を起こして部品の穴や隙間の気泡を追い出し、それから超音波洗浄する方式が考え出された。ネジ穴のような円筒状の穴であれば、一般に直径の 5 倍程度までは、横切る水流が穴内に分流して入り込む。その流れが穴内の気泡を追い出す。

図 1 に、噴流リンスの効果を示す。

超音波リンスだけよりも噴流を使う方が、リンス効果が高く、噴流後超音波リンスすると、更にリンス効果が高まる事が分かる。HDD 部品表面の洗浄溶媒は噴流有無に関わらず濯がれると考えられるので、噴流の効果で洗浄溶媒が部品の穴内から濯がれたと推測出来る。

しかし、HDD が 2.5 インチ以下の小型ディスクになると、使用するネジも M2 以下に小さくなり、表面張力の働きが強くなって、水流では気泡を追い出しにくくなる。また、最近多用されるようになったディスク駆動モーターの流体軸受には小径で深い穴が空いている。

そこで、洗浄槽に洗浄籠が入ったら、蓋をして真空ポンプで洗浄槽ごと洗浄溶媒を減圧する事で、部品の穴や隙間の気泡を追い出す減圧超音波洗浄も採用されるようになった。洗浄溶媒が減圧されれば気泡は膨張し、穴や隙間から出ていく。また、洗浄溶媒が減圧されれば溶解していた気体も洗

浄溶媒から気中に吸い出され、残っている気泡は洗浄溶媒に溶解して小さくなる。更に、溶存気体が減ると超音波も強くなるので、超音波洗浄の効果も高まる。

初段の rins 槽も減圧して、再度部品の穴や隙間の気泡を追い出し、rins 効果を高める事も多い。

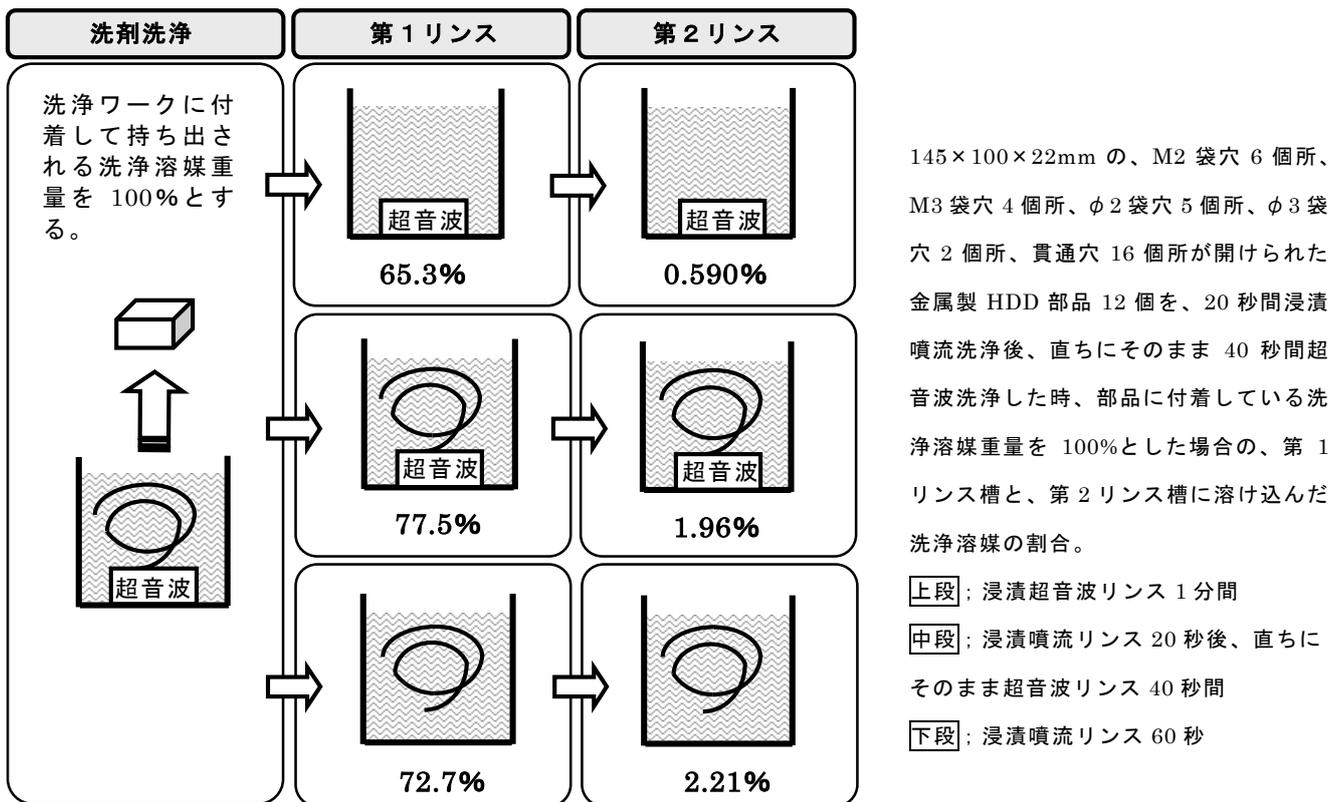


図1 噴流の洗浄溶媒 rins 効果

乾燥は、部品に十分な耐熱性があれば、比較的設備費用の安価なクリーン温風乾燥が採用される。部品の隙間や窪みに溜まった液は、あらかじめエアブローして吹き飛ばし、乾燥負荷を低減することが多い。洗浄籠に平置きされた部品は、エアブローしても部品と籠との接触面の液が落ちにくい。この場合は、洗浄籠底面から掃除機のように吸引し液切りする、吸引乾燥が用いられる。液が飛散せずに吸い取られるので、エアブローのように吹き飛ばされた液が回りの部品に付着する事が少なく、好ましい。しかし、吸引効果はノズルからの距離の2乗に反比例して低下するので、洗浄籠底面に直置きされた部品の液切りなどでないと効果は低くなる。

部品が耐熱性に乏しい場合は、温純水引上げ乾燥して部品表面の水滴を除去し、部品の昇温を図った上で、真空乾燥される。真空乾燥では、一気に数秒でその時の付着水の沸騰点以下（100℃なら1013hPa、0℃なら約6hPa）まで減圧すると、穴内の水が急激に沸騰し、穴の外に飛び出すので、その分、普通の真空乾燥より大きな乾燥効果を発揮する。例えば、比熱0.162cal/g・℃の小ネジのような洗浄ワークを籠に盛って、80℃純水に浸漬昇温した時の洗浄ワークに残る純水量は22.012gであったが、これを急激に減圧して5分保つと、残水量は8.562gになった。この洗浄ワーク10.5g当り1gの純水を乾かした事になるが、理論値ではこの洗浄ワーク41.6g当り1gの純水しか乾かせない。この実験では普通の真空乾燥の約4倍もの乾燥効果を示したことになる。

図2に以上の概説をまとめたHDD部品の洗浄プロセスを示した。

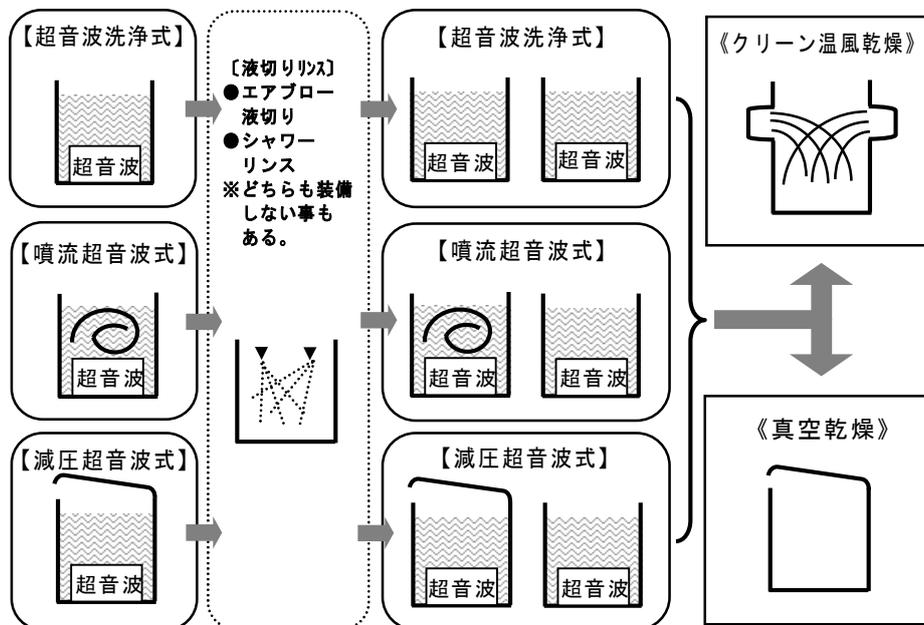


図2 HDD 部品の仕上げ洗浄プロセス概要

3. 流水浸漬超音波洗浄の適用

HDD 部品のように厳しい洗浄品質が求められる場合、洗浄ワークから洗浄溶媒内に洗い落とされた汚れの再付着汚染を押える事が鍵になる。その為に、従来は四角い洗浄槽の上面4方向全てから、新液供給分と循環濾過分を溢れさせる、4面オーバーフロー槽が用いられ、汚れた槽液を効率的に素早く入れ替える。しかし、洗浄槽で洗浄ワークから洗い落とされた汚れは、洗浄溶媒に拡散してしまうので、4面オーバーフロー槽であっても、その汚れの薄まり方は $D=1/3(S/T)$ (D :当初コンタミ量を1としたコンタミ残存率、 S :累積供給液量、 T :洗浄槽容積)の式に現わされる。この式によると、汚れが薄まってほぼ洗浄前の状態に戻るには、槽容積の約7~8倍の新液供給が要る事が判る。例えば3分タクトで洗浄をしようとする、3分以内に槽容積の約7~8倍の新洗浄溶媒を供給すれば、1槽で洗える事になる。槽容積40ℓとすれば、100ℓ/分余りの新洗浄溶媒が要る事になり、実現し難い。そこで、洗浄溶媒がまだ汚れている状態で、洗浄ワークを槽から引き上げるので、洗浄ワークに汚れが再付着する。これを更に洗い落とす為、複数の洗浄槽で順次洗う事を繰り返し、再付着汚染量を減らしていくのが普通である。流水槽は、洗浄溶媒を横に一様な流速に流して、川の中で洗うようにして、汚れを洗浄ワークから遠ざける事で、再付着をしにくくする。厳密には微粒子の流れ去る速度が槽内どこでも同じになるように、表面張力に引かれて微粒子が滞留し易い槽液表面の流速を、槽内流速より速めてある。図3に4面オーバーフロー槽と流水槽の模式図を示す。

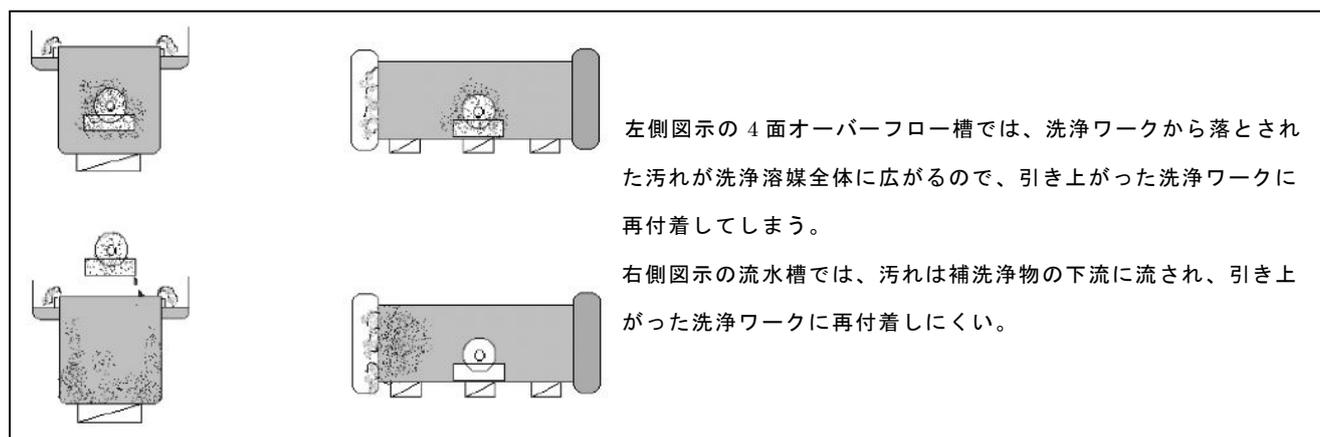


図3 4面オーバーフロー槽と流水槽の模式図

流水の流れが早過ぎると、洗浄ワークや洗浄籠の下流にカルマン渦が出来て、その渦内に汚れが捕らわれて滞留するので、渦が出来ずに流れが安定する 8~50mm/秒程度の流速にする。この程度の均一な流れは、大抵の超音波の効果を阻害しないので、超音波洗浄力は普通の洗浄槽とほぼ同等である。

図4に流水槽に50枚のハードディスクサブストレートを浸漬して80kHz900wの超音波を照射し、10mm/秒の流水を流した時のディスク上の音圧とアルミ箔の浸蝕状態を示す。音圧もアルミ箔浸蝕も均一で、超音波の効果が流水の流れに阻害されていない事が判る。

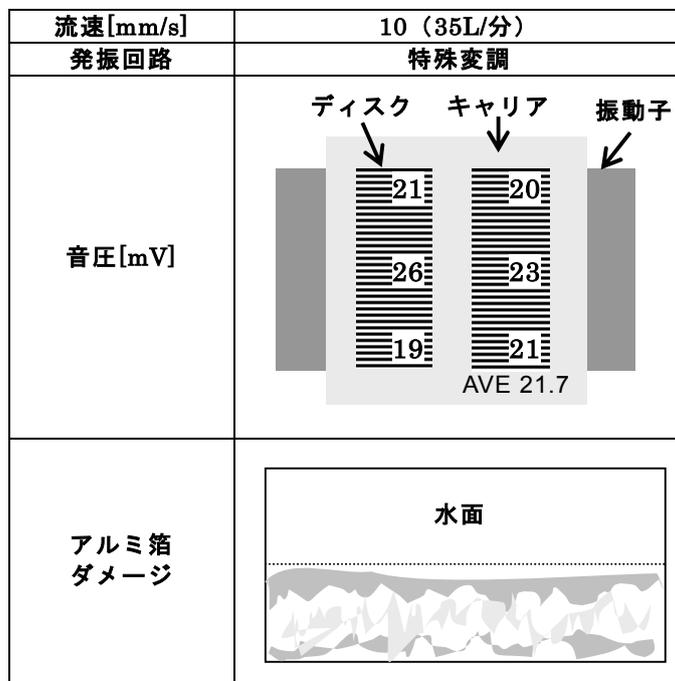


図4-1

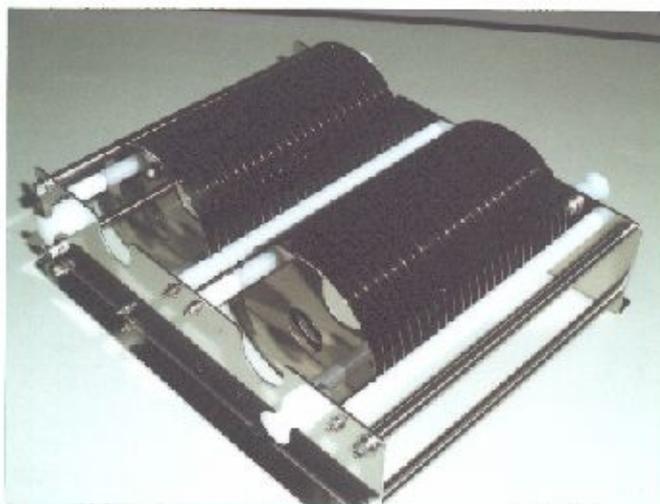
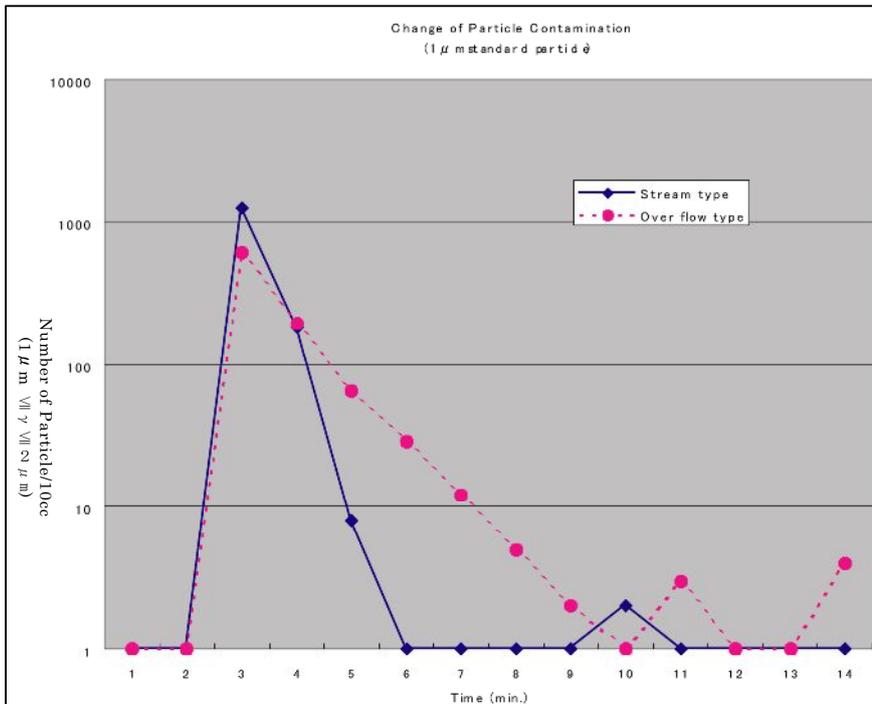


図4-2

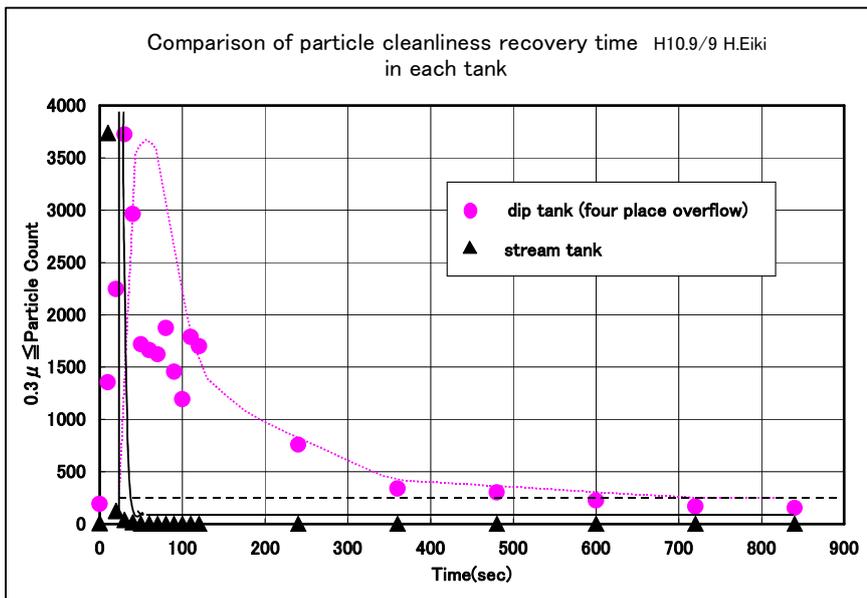
図5に4面オーバーフロー槽と流水槽に標準粒子を入れて、同じ量の純水新液を供給した場合の、槽内粒子のリカバリー状態を示す。流水槽は4面オーバーフロー槽より2倍余り早く、微粒子が槽内から流れ去る事が判る。微粒子除去を目的とする場合や、リンスを1槽で行うクイックダンプ槽の効果を期待する場合、流水流速を50mm/秒まで速めれば、極めて短時間で槽内汚れを排除出来る。微粒子除去を目的として、槽内循環濾過量だけ高めて、流水流速を50mm/秒まで速める場合を、加圧流水槽と呼ぶ。



槽容積は、4面オーバーフロー槽 48.5ℓ、流水槽 68.4ℓで、共に 35ℓ /分の純水を供給した。

図5 4面オーバーフロー槽と流水槽での1 μmポリスチレン標準粒子のリカバリー状況

図6に、4面オーバーフロー槽と加圧流水槽に標準粒子を入れた時の槽内粒子のリカバリー状態を示す。



4面オーバーフロー槽には1.1分で、加圧流水槽では1.3分で槽容量全量が入れ替わるだけの循環濾過を行った。加圧流水槽は標準粒子が一樣に槽外に流れ去るので、槽液に拡散して混ざってしまう4面オーバーフロー槽に比べて、はるかに早く槽内が清浄になる事が分かる。

図6 4面オーバーフロー槽と加圧流水層での1 μmポリスチレン標準粒子のリカバリー状況

どちらの槽にも1.1~1.3分で槽容積分の循環濾過をしている。加圧流水槽では、約55秒で槽内の標準粒子が排除されているが、4面オーバーフロー槽では350秒経っても5%程度の標準粒子が槽内に残存し、元の状態に戻るのに700秒余り掛かっているのが分かる。

槽容積分だけ短時間に純水を供給すれば、クイックダンプ槽と同様の効果を示す上、クイックダンプ時に槽液表面に浮遊する汚れを洗い落とす為に併用するシャワーに、ベルヌーイ効果で槽上の気中雰囲気が巻き込まれて洗浄ワークを汚す現象も起こらないので、クイックダンプリンスよりも清浄度が管理し易い。クイックダンプ槽の効果を狙って、槽容積分だけ短時間に純水を供給する場合

を、ハイフロー流水槽と呼ぶ。

加圧流水槽やハイフロー流水槽を組み合わせると、磁気ディスク洗浄では 90 秒タクト、HDD 部品洗浄では 15 秒タクトでの高いスループットの洗浄が実現出来ている。

従来の 180 秒タクト程度であれば、流水洗浄装置は 4 面オーバーフロー槽を並べた多槽式洗浄装置に比べて 40% 余りフットプリントを小さく出来、洗浄装置価格も 30% 程度安価になる。流水槽の再付着防止効果により、4 面オーバーフロー槽だけの槽構成よりも洗浄槽の数が減らせる為である。

4. 流水槽と 4 面オーバーフロー槽での HDD 部品除塵洗浄効果の比較

HDD 用モーター部品は形状複雑な為、製造加工中に塵埃が溜まり易く、且つディスクを駆動するのに 7000rpm 以上で高速回転するので、作動中に残存塵埃が飛び出して発塵源になる。そこで充分な除塵洗浄が必要になる。

図 7 に HDD 用モーター部品の洗浄効果を示す。

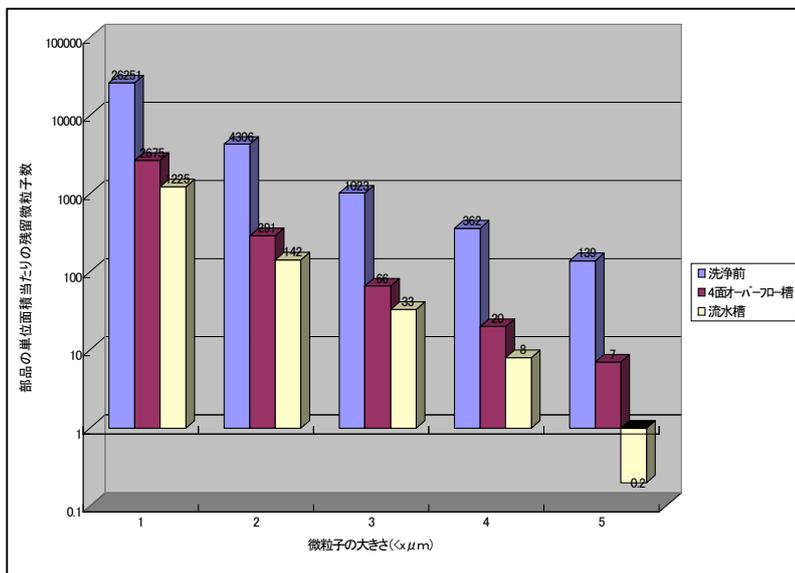


図 7-1

洗浄プロセスは、「洗剤浸漬超音波洗浄→純水シャワーリンス→純水浸漬超音波リンス→純水浸漬超音波リンス」で、浸漬洗浄リンス槽のみ 4 面オーバーフロー槽仕様と流水槽仕様で比較した。評価方法は、純水での超音波抽出による。どの塵埃サイズにおいても流水式の方が 4 面オーバーフロー式よりも残留塵埃数が、少ない。

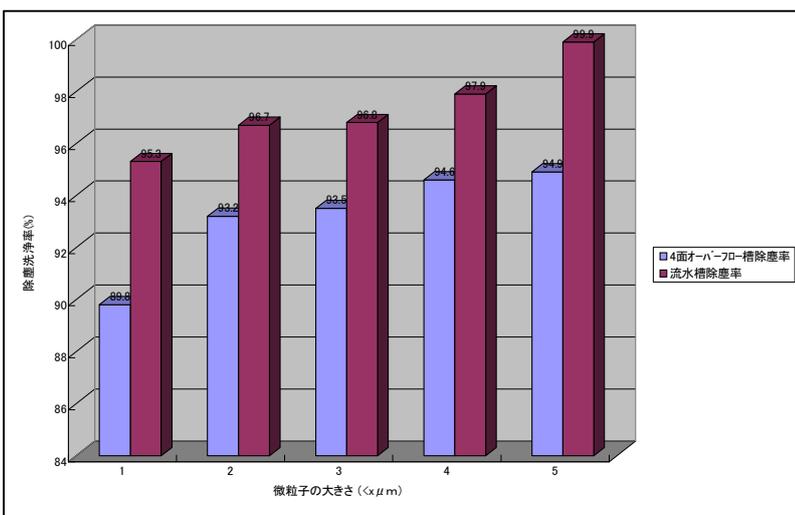


図 7-2

この実験での洗浄プロセスは、洗剤浸漬超音波洗浄→純水シャワーリンス→純水浸漬超音波リンス→純水浸漬超音波リンスとし、浸漬洗浄・リンス槽を 4 面オーバーフロー槽とするか、流水槽とす

るか、だけが異なる。

洗浄効果の計測は、あらかじめ塵埃数を計測した純水に評価したい部品を入れて、同じ条件で超音波を掛け、その純水の塵埃数を再度計測し、純水の塵埃数を差し引けば、洗い残しの塵埃数となるので、それを洗浄ワーク表面積で割れば、洗浄ワークに残った単位面積当たりの塵埃数が分かる。この実験では、どの塵埃粒径でも、流水槽の方が4面オーバーフロー槽より洗い残しの塵埃が少なかった。

洗浄剤や超音波、洗浄時間、乾燥方法は同じなので、流水槽の方が4面オーバーフロー槽より洗い残しの塵埃が少ない理由は、再付着防止効果の違いだと推測される。