

溫純水乾燥



SPEEDFAM CLEAN SYSTEM CO.,LTD.

1. 温純水乾燥の原理

温純水乾燥という名称は、その技術の商標（弊社：スピードファムクリーンシステム株）から由来した通称で、温純水引上げ乾燥という表現がその技術的特長をより明確に言い表している。すなわち温純水中から洗浄ワークを引き上げる事によって乾燥を行う独特の乾燥技術である。フッ素樹脂のような一部の撥水性の著しい物質を除き、多くの物質は概して親水性であり、水に接触すると少なからずその水が洗浄ワーク表面に残る。いわゆる濡れた状態になる。したがって、この付着水分を除去する水切り乾燥技術が水を使った洗浄に必要となる。この様な親水性の物質を水に半ば浸けたところを横から観察すると、図1のように物質表面に沿って水面が立ち上がるメニスカスと呼ばれる水の盛り上がりが見られる。この現象はガラスのコップに水を入れると器壁に沿ってメニスカスが形成されているのを容易に観察できる。メニスカスは水が親水性物質に濡れようと水面上にまでせり上がろうとするのに対し、水の表面張力が逆にせり上がろうとする水を水面に引き戻そうとする。その両者の拮抗した状態である。

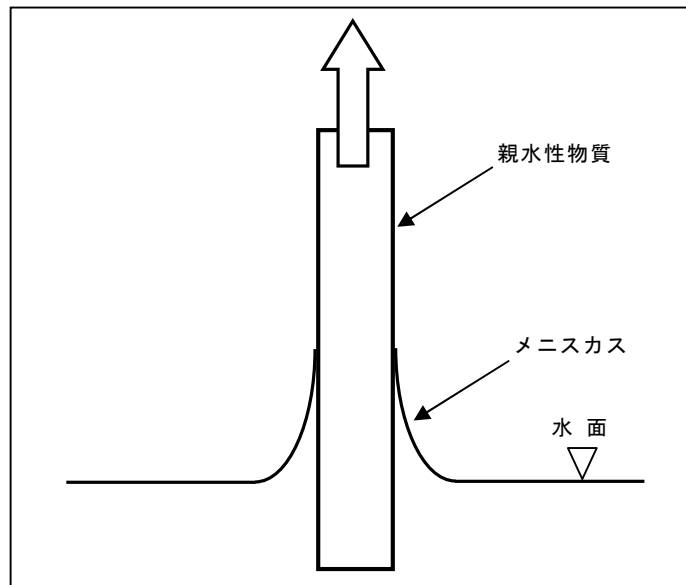


図1 温純水乾燥の原理（メニスカスを切らないように引き上げれば乾燥する）

温純水乾燥は、この水面の表面張力で物質表面の水を水面に引き込もうとする現象を利用する。水に浸けた親水性の洗浄ワークを水から引き上げて、その時の様子を観察してみると、引き上げ中もメニスカスは存在している事がわかる。引き上げ速度が速い時は、メニスカスが伸長して洗浄ワークが濡れるが、その濡れを水面に引き込む前にメニスカスが下降して切れてしまい、水濡れを水面に引き込む事が出来ずに水滴が洗浄ワーク表面に残る。しかし、洗浄ワークの引き上げ速度をもっと遅くすると、図2のように洗浄ワークは濡れようとしてメニスカスが伸長するが、その水滴が洗浄ワーク表面に残ろうとする力より表面張力+付着している水滴の重力が上回った時、一瞬のうちに付着水滴が水面に取り込まれる。この動きが連続して繰り返し発生する結果、洗浄ワークは濡れずに水面上に引き上げられる。これが温純水乾燥の基本原理である。このような表面張力を利用する乾燥方法は純水が 72.75dyne/cm という大きな表面張力をもつことで特異的に可能になるもので、洗浄で一般的に利用される水以外の溶媒では困難である。例えば洗剤を溶解させた水では 35dyne/cm 余りに表面張力が小さくなるので付着水滴を洗剤液中に引き込む効果が小さく、そのまま引き上げ乾燥すれば洗剤成分が洗浄ワーク表面に残留する。有機溶剤では IPA で 21.7dyne/cm 、

塩化メチレンで 28.2dyne/cm と、おおむね 35dyne/cm 以下の小さな表面張力であり、付着液滴を表面に引き込む効果が少ない上、蒸発し易いので引き上げ乾燥すると付着液滴は洗浄ワーク表面に残ったまま乾燥してしまい、溶剤中に溶け込んでいた汚れや不純物が洗浄ワーク上に残ってしまう。

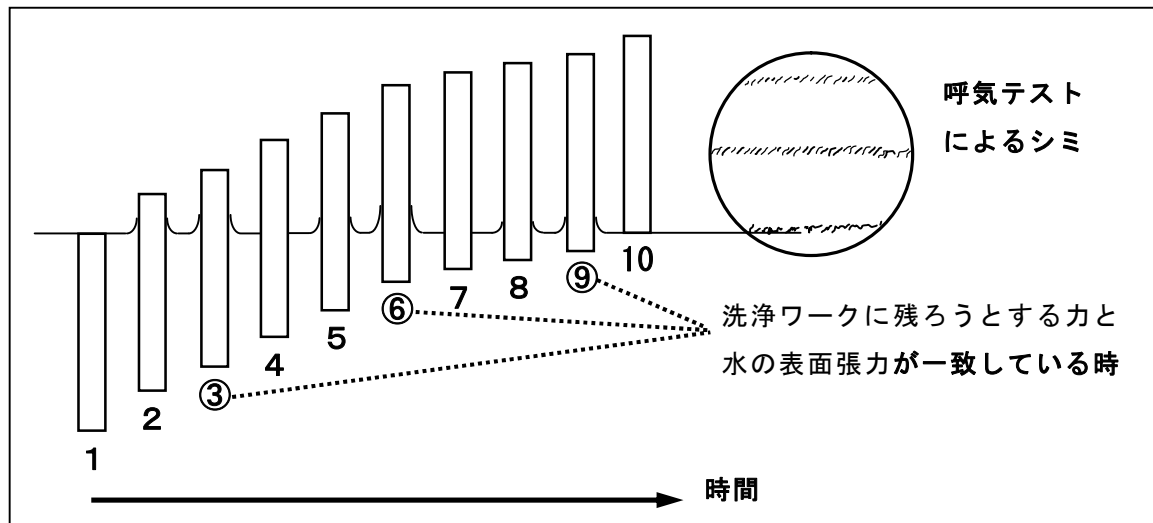


図 2 温純水乾燥中のメカニズムの動き

2. 温純水の役割

温純水乾燥に温純水（純水を加熱したもの）を使用する理由は次のようになる。

- ① 水中の含有不純物の蒸発残留による乾燥欠陥（染み等）の発生を防ぐため、純水が必要。
- ② 洗浄ワークを有効に過熱し、残水の自然乾燥を計るために、その純水を加熱して使用する。

2. 1 純水による乾燥欠陥の防止効果

温純水乾燥においては図 3.2 に示したように、メニスカスの伸長と表面張力による水面への取り込みが繰り返される。しかし、水面への取り組みに、例えば水面が波立って失敗すれば水滴は洗浄ワーク上に残り、乾燥して付着水の不純物のみが洗浄ワーク上に残留する。メニスカスの終端では、薄い水の分子膜からの蒸発が起こっている。すなわち、引き上げ乾燥に供する水に不純物が多いと、それは蒸発後に洗浄ワーク表面に残留する。したがって温純水乾燥には水をなるべく不純物が無いよう精製した純水を使用する必要がある。乾燥直前に洗浄ワークに付着し得る洗浄溶媒が清浄である必要はどの乾燥方法でも同じであり、理由も付着している洗浄溶媒中の不純物が蒸発後の洗浄ワークに残留するという共通の問題に対する対策に基づく。

2. 2 温純水による余熱効果

残念ながら水中から引き上げただけでは完全な水切りは出来ない。洗浄ワークが平板であれば次の 2ヶ所に水が取り得る。

- ① 洗浄ワークのサポート支持部
- ② 洗浄ワークの最下端

洗浄ワークを洗浄装置内で適切に支持するためにサポートする事はやむを得ない。するとサポートと洗浄ワークの間に表面張力で水滴が残る。水残りが少なくなるようサポートの在り方を工夫する必要はあるが、水残りをゼロにするのは難しい。また、洗浄ワークの最下端にも水滴が残る。原因は図 3 に示すように、洗浄ワークを水面上に引き上げる事によってメニスカスが切れて、水面に全

ての水を取り込めない事による。これらの残水は洗浄ワークの自熱で乾燥させる。水の蒸発潜熱は539.6cal/gで比熱1cal/gに比べて余りに大き過ぎるので、温純水によって洗浄ワークを加熱し、その熱を熱伝導によって水滴に供給しなければ乾燥させる事は出来ない。短時間に簡単に大きな熱量を洗浄ワークに供給する手段として引き上げ乾燥する純水を加熱しておき、その中の洗浄ワークを浸漬して加温した上で引き上げる、すなわち、温純水からの引上乾燥となる。

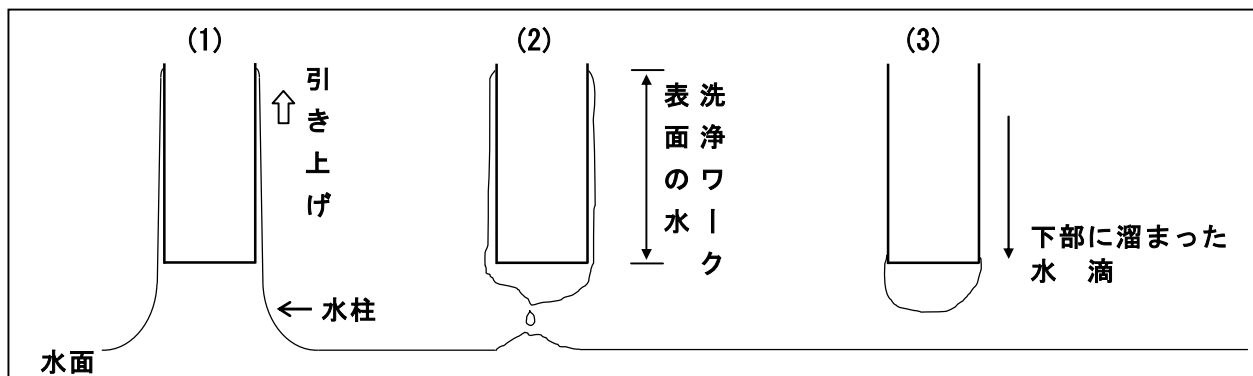


図3 洗浄ワーク 最下端に水残りが出来るプロセス

3. 温純水乾燥の適正条件

適正な温純水乾燥条件は、装置に供給されるユーティリティや装置に設置された場所の温湿度環境が規格に沿ったクリーンルーム条件（温度 22℃～23℃、湿度 40～55%）として一定である場合、洗浄ワークの水面から引き上げ速度と温純水温度によって定まる。このうち温純水温度については高い程残水の自然乾燥に有利となる事から、適正な引き上げ速度の条件範囲を広げるので、洗浄ワークの耐熱性と装置の温純水製造能力のかなう限り、高温の温純水を用いる。普通 80℃程度の温純水が使われる。したがって、温純水乾燥のための可変要因は洗浄ワークの水面からの引き上げ速度のみとなる。ちなみに温湿度環境は水の蒸発速度に直接関係するので、一般にどの乾燥方法でも温湿度 23℃60%を超えれば乾燥不良を招く可能性が大きくなる。普通、精密洗浄装置がそのような悪い環境で使われる事はないので温湿度については評価しない。

3. 1 適正な引き上げ速度

温純水乾燥は水の表面張力を利用した引き上げ乾燥なので水滴を水面に取り込める引き上げ速度の範囲がある。もし、適正引き上げ速度より高速で洗浄ワークが引き上げられる時、図4のようにメニスカスは水滴を水面に引き込む前に後退し、水面に平行な水残りを作り、やがて蒸発する。この現象がくり返される結果、温純水や洗浄ワークにわずかな汚れがあったり、その残水が乾燥にいたる間に洗浄ワーク表面から成分が析出したり、洗浄ワークが酸化されたり、二次汚染されたりして水残りが蒸発する間にその水は汚れ、蒸発残留物が残る。その結果、水面に平行な一定ピッチの帯状の汚れが乾燥した洗浄ワークに残り得る。一般的な良い洗浄乾燥条件下でも、この乾燥欠陥が呼気テストによって視認できる事がある。洗浄後薄膜形成をする場合、成膜後に視認される事もある。もし、適正引き上げ速度より低速で洗浄ワークを引き上げても同様の縞状欠陥が1～2mmの細かいピッチで発生し得る。引き上げが遅すぎてメニスカスの薄い膜が蒸発して同様に蒸発残留物を残しつつ後退する事による。

適正引き上げ速度とは、メニスカスが切れず、途中で蒸発せずに大体同じ長さで維持されるスピードで、洗浄ワークと水の接触角によって決まる。すなわち図5に示すように親水性の大きな洗浄ワ

ークは水と馴染んで濡れ易く、水との接触角は小さく、メニスカスは高く伸びて切れにくい。したがって、速く引き上げる事が出来る。逆に、それ程親水性ではない洗浄ワークは濡れにくく、水との接触角は大きく、メニスカスは伸長せず切れ易い。したがって、引き上げ速度を早めるとメニスカスは水滴を水面に取り込まず切れてしまう。一般に接触角 5° 以下のガラス等では $8\sim 12\text{mm/sec}$ 、 $5\sim 15^{\circ}$ 程度の金属等では $5\sim 6\text{mm/sec}$ の引き上げ速度を設定する事が多い。

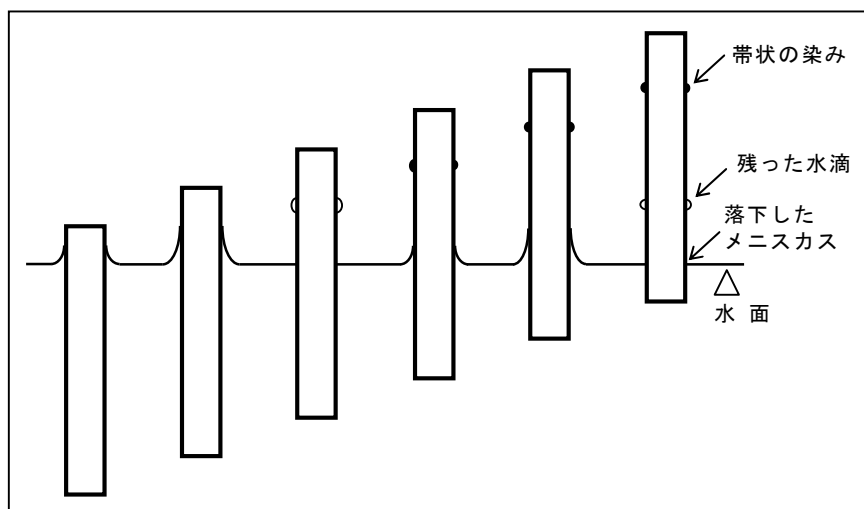


図 4 引き上げ速度が最大である時に形成される縞状乾燥欠陥の発生プロセス

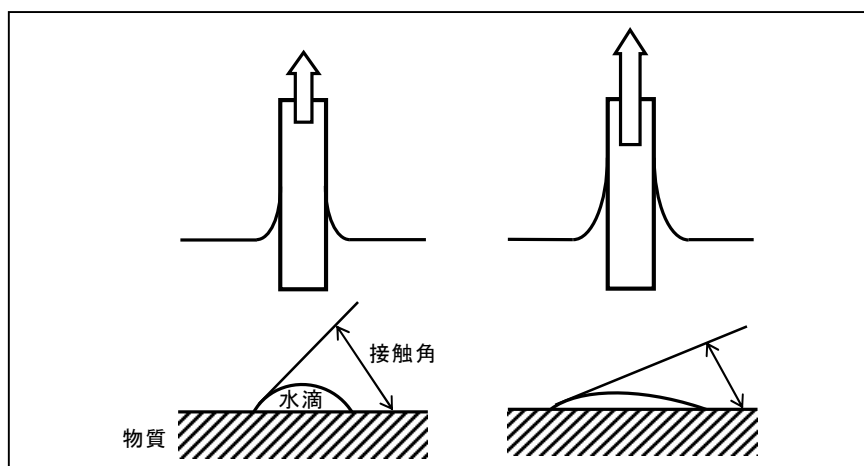


図 5 水の接触角と適正引き上げ速度の関係 (接触角が小さい程高速で引き上げられる)

3. 2 適正な温純水温度

引き上げ乾燥直後に洗浄ワーク上に残る水滴の大部分が、洗浄ワーク最下部に溜る水である。洗浄ワーク最下部に水が残るプロセスは図 3 に示す通り、洗浄ワークが離水した時点でメニスカスによる残水の水面への取り込みが終わっていないまま、メニスカスが切れるためである。

しかし、温純水温度が高くなるほど残水の乾燥時間は短くなる。高温純水ほど残水を蒸発させるのに必要十分な自熱を洗浄ワークに供給できるためである。したがって、洗浄ワークの耐熱性に支障の無い限り 70°C 以上できるだけ高温の温純水を使うのが乾燥性にとって有用である事がわかる。実際の洗浄装置では温純水槽温は 80°C 程度で使用する事が多い。

4. 温純水乾燥用の洗浄ワークのサポート方法

温純水乾燥をするためには、洗浄ワークを温純水面に垂直に保持しなければならない。そのサポー

ト手段は実用上、洗浄装置と同じ洗浄箒やロボットハンドが使われる。しかし、洗浄に必要な洗浄ワークのサポート条件があるように、温純水乾燥に必要な洗浄ワークのサポート条件がある。すなわち耐熱性、温純水に対する耐溶出性、少ない洗浄ワークサポート部の残水、水面を波立たせない事をなるべく安価に実現しなければならない。その上で洗浄装置に乾燥機能を持たせる以上、そのサポートは洗浄に必要な条件を合わせ持つ必要がある。その結果 HTPVC または、PVDF 製の薄板によるサメ歯サポートが使われる事が普通である。

4. 1 耐温純水性で水残りの少ない材質

耐温純水性の要件としては、耐熱性、耐腐食性、溶出の無い事、強度が維持される事が求められ、さらにサポートの取り付け構造によっては熱膨張率も検討する必要がある。耐熱・耐食・耐溶出素材としてはフッ素樹脂、PPS、PEEK、HTPVC などの樹脂、SUS316L がある。SUS304 は洗浄箒としての使用は問題ないが、温純水槽専用として常時温純水に浸漬される状態では若干の腐食が認められる。これらの耐温純水性素材の中で、水濡れの良いものが温純水乾燥用洗浄ワークサポートに適した材質である。洗浄ワークサポートが疎水性材質である場合に洗浄ワークに染みが形成されるプロセスを図 6 に示す。疎水性素材は洗剤や汚れ（概して疎水性）は付着し易いが、水を撥いてしまい、その水洗が不十分となる。その上、引き上げ乾燥時に疎水性のサポートに付着した水が親水性の洗浄ワークの方へ集まり、表面張力でサポートと洗浄ワークの間に保持されるので洗浄ワークサポート部の水残り量が多くなり、その付着水にサポート上の水洗されずに残った洗剤や汚れが溶け出す。

その結果、洗浄ワークサポート部に水染みが出来やすい。洗浄ワークサポートが親水性素材であれば洗剤や汚れは水で洗い落とされる上、サポートの水が洗浄ワーク側へ保持される量も小さいので、このような水染みの発生確率を少なくできる。

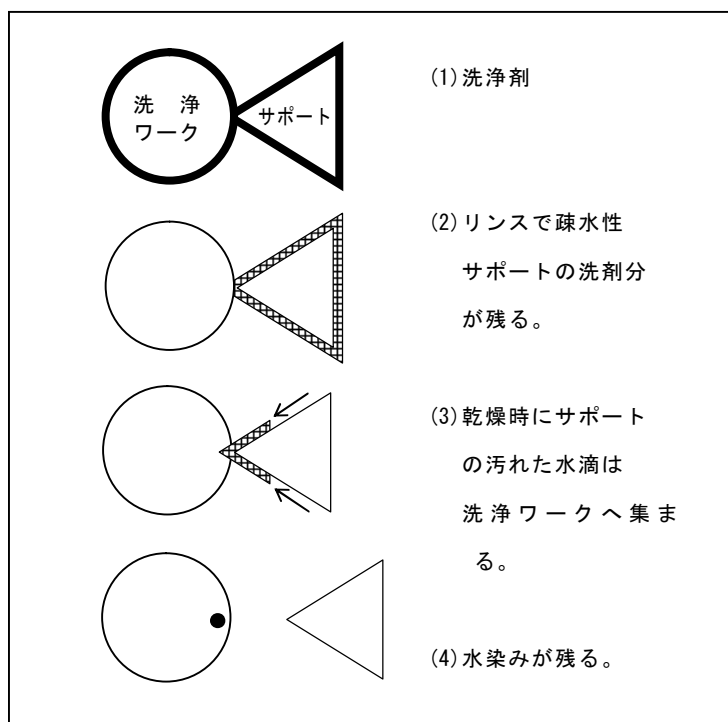


図 6 疎水性の洗浄ワークサポートによる染み形成プロセス

先の耐熱・耐食・耐溶出素材の中で親水性の物は PPS、PEEK、HTPVC、SUS などフッ素樹脂は PVDF 以外（例えば PTFE や PFA）疎水性で使用し難い。これらの素材のうち、HTPVC、PVDF が洗浄ワークのサポートに使い易い。SUS 材は硬い洗浄ワークに対しては直接サポートに使う事が

できるが、むしろ強度を活かしてサポートの支持材や構造材に利用される。

4. 2 水残りを抑えるサポート形状

洗浄ワークの支持部に水が残るのは、サポートと洗浄ワークの接点に表面張力で水が保持されるのが原因である。したがって、支持部形状を点接触に近づければ支持部の水残り量を最小限に抑えられる。

また、洗浄ワークのサポートポイントを減らせば水は残る場所も減らせる。すなわち、理想的には3点支持で、支持部を薄板の90°V型溝として、そこに洗浄ワークを載せるのが最良の洗浄ワークのサポート方法である。この方法で洗浄ワークを一度に大量処理しようとするするとサポートはV溝の連続したサメ歯型となる。バッチ式洗浄機ではサメ歯型サポートを持つ洗浄籠が使われる。サメ歯にHTPVCやPVDFのような樹脂材を使う場合、洗浄ワークの荷重に耐える強度を得るためにSUSの心棒を貫入させた成形品や削り出し品を用いるか、SUS棒のサメ歯型の長さの短い薄板をビス留めする。SUS棒に溝を掘って長さのある樹脂製サメ歯板を埋め込む方法はSUSと樹脂の熱膨張率が異なるため、サメ歯が変形するので要注意である。

4. 3 波立ちを抑えるサポート形状

温純水乾燥中に水面が波立つと乾燥不良を招く。波が水面を押し上げ、次いで適正引き上げ速度より相当速い速度で水面が下降するので、波によって押し上げられた水滴は水面に取り込まれず残留し、最終的に自熱乾燥する事となる。洗浄ワークを一度に複数洗浄乾燥しようとする、サメ歯型サポートが水面に平行に3本以上並ぶため、これが引き上げ乾燥中に離水する時、表面張力でサポート下面に引きずられて盛り上がった水が一気に落下して大きな波を作る。特に洗浄ワークの側面を支えるサポートが作る波の影響は大きい。その対策として籠を傾斜させて置くか、引き上げアームで籠を傾斜させて置くか、あるいは引き上げアームで籠を傾ける機構を持たせるかの方法がある。

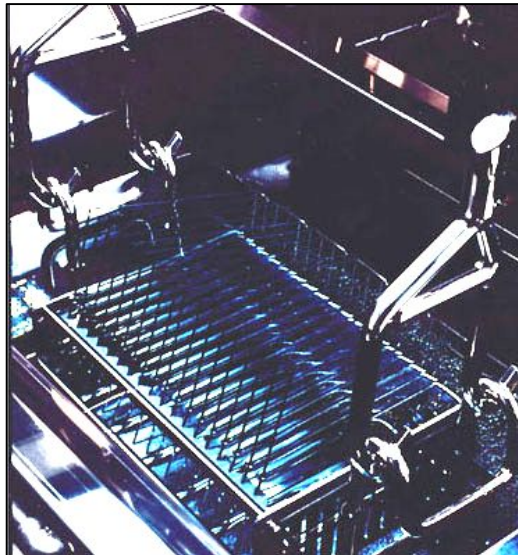


図7 温純水乾燥中のマスクガラス

この方法ではサメ歯サポートは水面に対して斜めになるので、離水が滑らかに連続的となり波が起きない。もう一つの対策はサメ歯サポート下に水面から角度を付けたフィンをつける方法がある。この方法は傾斜させたフィンをサメ歯サポート底面の代わりに離水させて波を抑える。このような各種温純水乾燥に必要な条件を折り込んだ洗浄籠の使用例を図7に示す。このような籠は洗浄用途に必要な要素（水切れが良い事、サポートが超音波をさえぎらない事）を阻害しない。

5. 装置技術のポイント

5. 1 温純水の製造

水は比熱が大きいので、例えば 1ℓ /分の水を 20℃から 85℃ (Δt 65℃) に昇温させるのに約 4.5kw を要す。したがって、ヒーターが大型化するのが温純水乾燥装置の難点である。温純水槽は槽温が均一化するように工夫されており、その中に大きな伝熱面積をもつ加熱システムは設置し難いので、普通は温純水乾燥槽外で温純水を作り、それを温純水乾燥槽に供給している。純水加熱装置は熱源として電気と蒸気がよく利用され、いずれも性能的に十分な物が使われている。3分タクトで 20℃の洗浄ワーク 10kg を 80℃に昇温しようとする、約 4.7kw/hr の熱が温純水より失われる。これを 85℃の温純水供給によって槽温を 80℃に維持しようとする、ほかの要因による熱損失を加味した上で毎分あたり、槽容量の約 7%の温純水の供給が必要となる。供給温純水量を減らせば槽水温に対する Δt をより大きくとる必要があり、そのためにもっと高温の温純水を供給する必要がある。一方、一般的に精密洗浄で使う純水では溶存酸素で 5~10ppm の空気を溶解しており、水温が 92℃を超えると溶解し、さらにガス化して発泡が始まる。したがって温純水加熱装置を空焚きせずに安定して供給できる水温は 90℃程度が上限となり、温純水槽の一般的上限温度は 85℃程度となる。温純水製造に供するエネルギーを節約する事は重要である。たとえば一部の槽内温純水を再加熱して循環使用すれば、新たな純水を 20℃前後から加熱するよりエネルギーを節約できる。しかしながら、循環加熱時に温純水を冷却しないで再精製する事は困難なので水質の劣化は免れない。そこで、温純水の排水から加熱前の純水へ熱交換してエネルギーを節約するのが無難である。

5. 2 温純水槽の泡の除去

温純水槽内に気泡が浮いてくると、それが水面に到達した時に波を発生させて乾燥品質を悪化させる。気泡はそのほとんどが純水を加熱する時に形成される。この場合、純水加熱装置の後段に精密フィルターを配していると、気泡がフィルターハウジングに貯まって濾過流量を低下させ、さらにはフィルターを圧碎する事もある。純水加熱装置で発泡する原因は、どうしても伝熱面の温度を必要温純水温度より高くせざるを得ず、しばしば溶存気体のガス化の始まる 93℃以上に達する事による。

これを防ぐには伝熱面積を広くとる事であるが、加熱器の大型化を招き実用的な対策としては限界がある。したがって純水加熱装置からは泡入りの温純水が供給されるものとして、加熱装置から温純水槽にいたる間に発生する気泡を捕獲するシステムを組み込む事が必要となる。気泡捕獲システムが不十分であると、純水加熱装置の伝熱面温度を低くすることで発泡を抑制せざるを得ず、この場合温純水槽の上限温度は 70℃程度となる。

5. 3 温純水槽の濾過

温純水を温純水乾燥槽に入る直前で濾過すれば、加熱装置や流量バルブなどからの万一の発塵を捕獲できる。温純水乾燥槽液を循環加熱しようとする、ポンプからの発塵も重ねて考慮しなければならない。しかし、耐熱性のメンブレンフィルターでこの目的に合う物は種類が少なく高価である。テフロン製フィルターは、すべてをテフロン溶着で造った物は使用し得るが、普及品は部材の接合手段として別の種類の樹脂を用いており、ここからの TOC 成分の溶出が起り得る。また、テフロンは疎水製なので純水加熱装置から気泡が多く発生すると、それを捕らえてその部分が水を透過しなくなり、流量不足を招く可能性がある。ポリオレフィン系濾材を使った物にも若干使える物が

あるが、耐熱性の上限で使う事になるので TOC 成分の溶出防止に配慮したい。しかし、純水加熱装置はフッ素樹脂、石英、ステンレスなどで普通は造られており、可動就動部も無いので、適切な設計と製造が行われていれば継続的に発塵する要素は無いはずである。電気式純水ヒーターで計測すると、加熱時は数十万ヶ/10ml 以上の微細気泡は発生するが、塵埃が加熱停止時より多くなる事は無いようである。ゆえに、可動するポンプや流量調整バルブ、流量計の後段にフィルターを入れ、その後に純水加熱装置を配する型が現実的であり、一般精密洗浄用途ではこれで十分である。

5. 4 排気

排気は温純水引き上げ中に液表面から発生する湯気が洗浄ワークに接触し、再凝集して洗浄ワークが二次的に濡れるのを防ぐ目的で、温純水槽両液面側に設けられる。大体、槽上で約 1.6m/sec の下降気流が作られれば目的は達成する。湯気は温純水面から上昇できずに両側の排気口へ導かれる。

5. 5 温純水乾燥部の構成

このような要素を検討した温純水乾燥部の構成は図 8 のようになる。温純水槽で使われた温純水排水は熱交換器で純水の与熱に使われる。熱交換された温純水排水は、しばしば洗浄槽で再利用される。引き上げ乾燥を昇降アームの上昇に依らず、温純水位の下降で行う方法も考えられるが下がった水面に対する排気の取り方や、排水した温純水を再利用する手段等の難題があり、昇降アームによる引き上げ法が主流である。引き上げは定速でなめらに行う必要性からインバータまたはサーボ制御のモーターか、エア－ハイドロシリンダが使われている。実例として図 7 にマスクガラスを乾燥させている写真を付す。

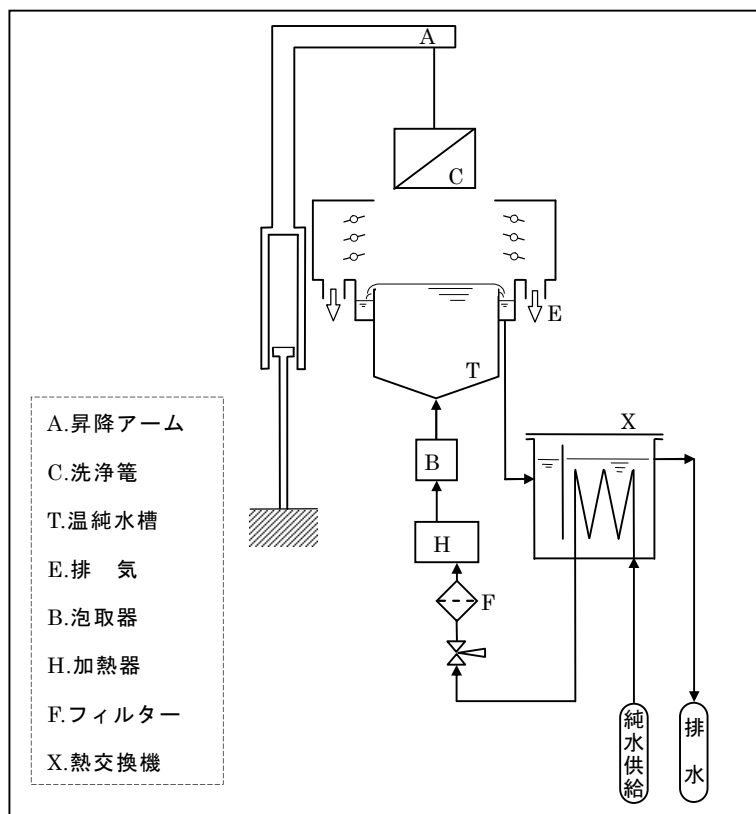


図 8 温純水乾燥部の構成

6. 軽金属の表面腐食

マグネシウムやアルミニウムの合金を温純水に浸漬すると表面の不動態膜が破られ、微小のピットを生じて面粗さが変わったり、変色したり、耐食性が劣化する問題がある。更に浸漬を続けると不

動態膜が失われて発泡して溶解が始まる。図 9 にアルミ合金表面に温純水 浸漬によって形成されたピットを示す。対策としては

- ① 洗浄ワークの与熱浸漬時間を減らして腐食の始まる前に乾燥を終了する。
- ② 温純水温度を下げる。
- ③ 純水の比抵抗値を加熱前の純水で $0.2\text{M}\Omega/\text{cm}$ 程度以下に下げる。

があり、いずれも実用化されている。①②の方法は表 1 のデータが示すように腐食の進行が同一比抵抗の純水を使った時、温純水温度と浸漬時間の 2 つの要素で決定される事を逆用したものである。①は浸漬時間を短くし、②では温純水温度を下げる事により、腐食の進行前に乾燥を終了させる方法である。③の方法は表 2 に示すように純水の比抵抗を $0.2\text{M}\Omega/\text{cm}$ より下げれば腐食は発生しない事を利用している。すなわち、一次純水を用いれば目的の比抵抗を直接得られるが、純水中に成分を管理できない不純物が入っているのが洗浄ワーク表面に残る事となる。二次純水（一次純水をさらに精製したもの。超純水のこと）を用いる必要がある場合、炭酸ガスなどの水中に溶解した時イオン化ガスを $0.2\text{M}\Omega/\text{cm}$ 以下の比抵抗となるよう溶解してやれば目的を達成する。溶解したガスは純水と共に蒸発して温純水乾燥後の洗浄ワーク上に残存しない。

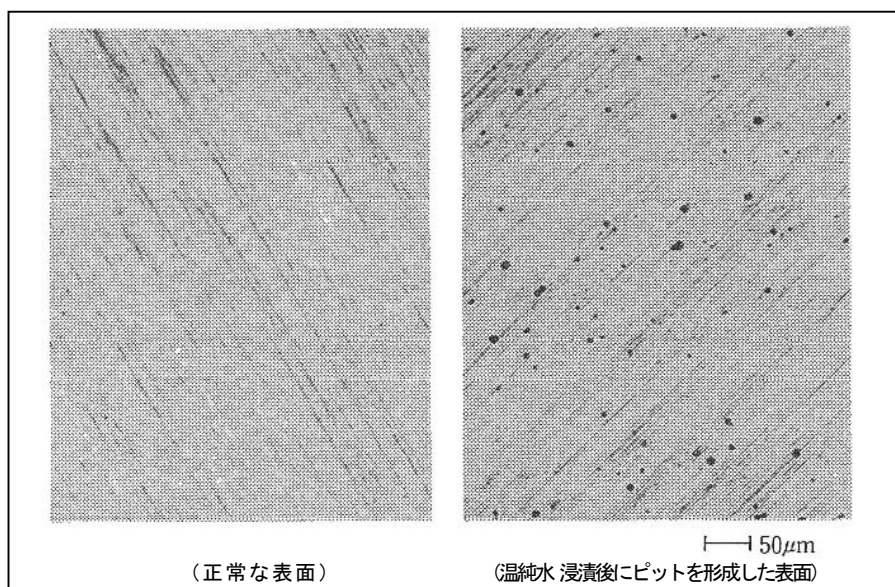


図 9 温純水 浸漬により形成されたアルミ合金表面のピット

表 3.1 アルミ合金円筒の温純水による目視腐食の有無（純水は $1.2\text{M}\Omega/\text{cm}$ ）

浸漬時間(分) 温純水温(°C)	浸漬時間(分)				
	1	3	5	10	60
22	-	-	-	-	-
50	-	-	-		
60	-	-	+		
70	-	+			

表 2 いろいろな精製水の比抵抗値とアルミ合金の腐食との関係

水の種類	不純物	条 件			実 験 結 果			判 定
		水 温	浸漬時間	比抵抗値	変 色	ピット	残 渣	
純 水	なし	80°C	2分	$1\text{M}\Omega/\text{cm}$	有り	有り	なし	不良
脱気純水	なし	80°C	2分	$1\text{M}\Omega/\text{cm}$	有り	有り	なし	不良
R O 水	イオン性	80°C	2分	$0.1\text{M}\Omega/\text{cm}$	なし	なし	有り	不良
純 水	炭酸ガス	80°C	2分	$0.2\text{M}\Omega/\text{cm}$	なし	なし	なし	良好

7. 温純水乾燥の限界

残念ながら温純水乾燥単独であらゆる洗浄ワークを乾燥できる訳ではない。図 10 に示すように、3つのケースで乾燥には至らない。逆に、これ以外のケースでは温純水乾燥単独で乾燥できる。

- ① 洗浄ワークに凹凸があり、引き上げ時に水が溜る場合。このケースでも凹凸部の水溜り以外は乾燥している。

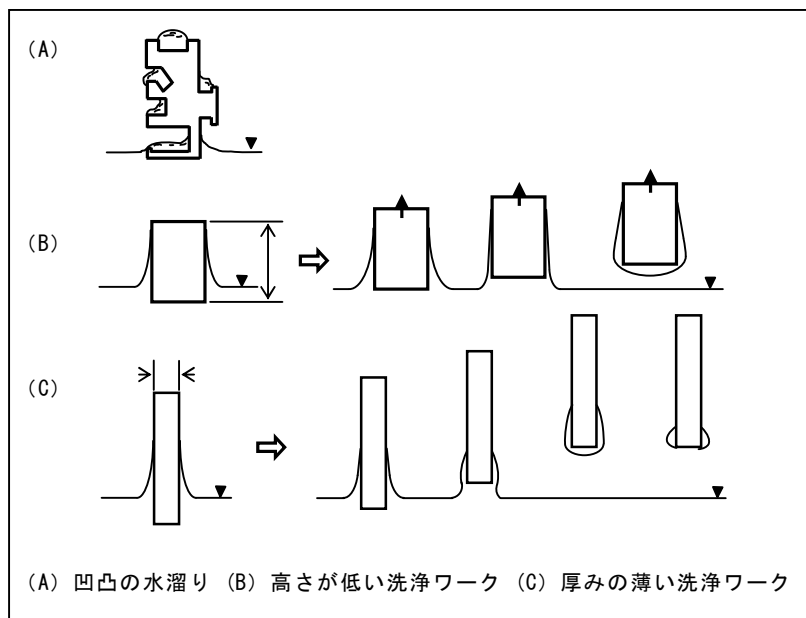


図 10 温純水乾燥の限界

- ② 洗浄ワークの引き上げ方向の高さが不足している場合、メニスカスが付着水滴を水面に取り込む前に切れてしまう事になる。目安として洗浄ワークの高さが 50mm 以下の時、このケースによる乾燥不良となり得る。
- ③ 洗浄ワークの厚さが目安として 0.7mm より薄い時。洗浄ワーク最下端の付着水滴を乾燥させるだけの自熱が確保できない事による。

ところが、このようなケースであっても温純水乾燥処理後の洗浄ワークは

- ① 洗浄ワーク表面はすでにほとんど乾燥しており、水残り量は少ない。
- ② 洗浄ワークは 80°C に加熱されている。

この事は極めて重要である、乾燥の手段は普通蒸発を主体としており、このために洗浄ワークの加温が乾燥を有利にする。乾燥負荷を下げるには洗浄ワークの付着水量を減らす事が重要である。温純水乾燥処理直後の洗浄ワークは他の乾燥法、たとえば温風乾燥、IR 乾燥、真空乾燥の前処理として大変有効となる。温純水乾燥後にこれらの乾燥を行えば、これらの乾燥法の単独使用では困難か長時間の作業を要する洗浄ワークの乾燥も極めて容易に行える。このようなハイブリッド乾燥を利用した洗浄装置も、現在は普通に使用されている。