

ハイブリッド真空洗浄乾燥装置

Vacuum Cleaning & Drying Equipment

株式会社アクアテック
代表取締役

堂元 雅洋
Domoto Masahiro



1. はじめに

炭化水素系洗浄剤を使用した真空洗浄機が、自動車部品、電子部品、精密部品等の切削加工油、プレス油、研削油および切粉などの洗浄除去を目的に今や一般的に普及してきている¹⁾。鉱物油に対する炭化水素系洗浄剤の洗浄性は、卓越した溶解除去性がある。しかし、水溶性油、水溶性切削油および水溶性研削油等水分が混入したものに関しては、その性能を発揮しない。このため、炭化水素系洗浄剤のみで洗浄すると、シミの除去が完全ではない。このシミ成分は、水に混入している微量成分であるナトリウム、カルシウム、カリウム、マグネシウムなどに加え、加工油の成分としてのカルシウム、硫黄、塩素類およびその化合物が残留し、乾燥時凝縮したものであることなどが、シミの分析から解析されている。

水溶性切削油のシミ問題を解決するための方法として従来から使用されている水系洗浄に炭化水素系洗浄剤を組み合わせ、水系洗浄と炭化水素系洗浄の良い点のみを取り出し、それらを組み合わせで装置化することで解決を図った。本稿では、その具体的な方法と設備、水系洗浄剤とグリコールエーテルを併用使用して、シミのない乾燥と環境対応も同時に達成した最新の真空洗浄乾燥装置（株式会社神戸製鋼所との共同特許商品）を紹介する。

2. 使用する洗浄剤について

水系洗浄剤については、中性タイプの洗浄剤とアルカリ性洗浄剤のいずれかを使用する。基本的には排水処理性を考慮し、中性タイプを使用したい。中

性タイプで洗浄性が強く求められれば、アルカリ性タイプを使用する。ただし、この場合 pH 調整を含む排水処理装置が必要となる。炭化水素系洗浄剤は、水置換タイプを採用しても可能であるが、連続蒸留できることで品質の安定を第一に考慮し、今回はグリコールエーテルを採用した。グリコールエーテルと炭化水素系洗浄剤等の基本特性は、表 1 のとおりである。

3. 多槽式真空洗浄乾燥機について

今回、大気圧方式の水系洗浄とグリコールエーテルを使用して、真空洗浄および真空乾燥の組み合わせにより一連の装置とした。これに多段式真空蒸留再生機および真空ポンプさらにランニングコストの削減策と環境対応および安全対策として、排気回収システム、自動排気システム、防爆システムを付帯した。これらの全てを、幅 5,400×奥行き 1,600×高さ 2,860mm/m の装置内に内蔵した（写真 1、2 および図 1、2、3）。

3.1 工程とその目的

6 槽式真空洗浄乾燥機のサイクルタイムは 6 分以上が標準である。工程は、水系洗浄 1⇒水系洗浄 2⇒水洗 1⇒水洗 2⇒真空洗浄⇒真空乾燥（図 4）からなる。

まず水系洗浄で、水溶性の油分および無機物の洗浄を目的にする。洗浄効果を高めるため、超音波と上下揺動機構を付帯する。さらに浮上した油分は油水分離槽で浮上させ、その浮上油は、オイルスキー

表1 各種洗浄剤の基本物性

		グリコール エーテル ^{*1} (S-110)	炭化水素 洗浄剤 ^{*2} (NS-100)	塩素系溶剤
				参考(文献値) 塩化メチレン
基本物性	密度(15℃) [g/cm ³]	0.927	0.734	1.326(20℃)
	蒸気比重(空気=1)	4.1	4.9	2.9
	沸点[℃]初留点	174	169	40
	終点	—	173	—
	流動点または融点[℃]	—	-30.0	-96.7(融点)
	動粘度(20℃) [m ² /s] [cSt]	7.3	1.27	0.43
	〃 (40℃)	(50℃)2.8	0.97	—
	表面張力(20℃) [mN/m] [dyn/cm]	29.9	21.0	28.1
	蒸発潜熱[kcal/kg]	—	66.0	78.7
	比熱(20℃) [mm ² /kcal/g・℃]	—	0.52	0.28
	SP値	9.3	7.7	9.7
	屈折率(20℃)	1.9275	1.411	1.424
	において	低臭気	極めて微臭	エーテル臭
安全性	引火点[℃]	68	53	なし
	爆発限界(vol%) 下限	—	0.8	15.5(酸素中)
	〃 上限	—	5.5	66(酸素中)
	消防法(危険物第4類)	第2石、水溶性	第2石油類	該当せず
	〃 (指定数量)	2,000 ℓ	1,000 ℓ	2.1
	労働安全衛生法(有機溶剤中毒予防規制)	該当せず	該当せず	第2種有機溶剤

* 1：クラレ製 * 2：ジャパンエナジー製

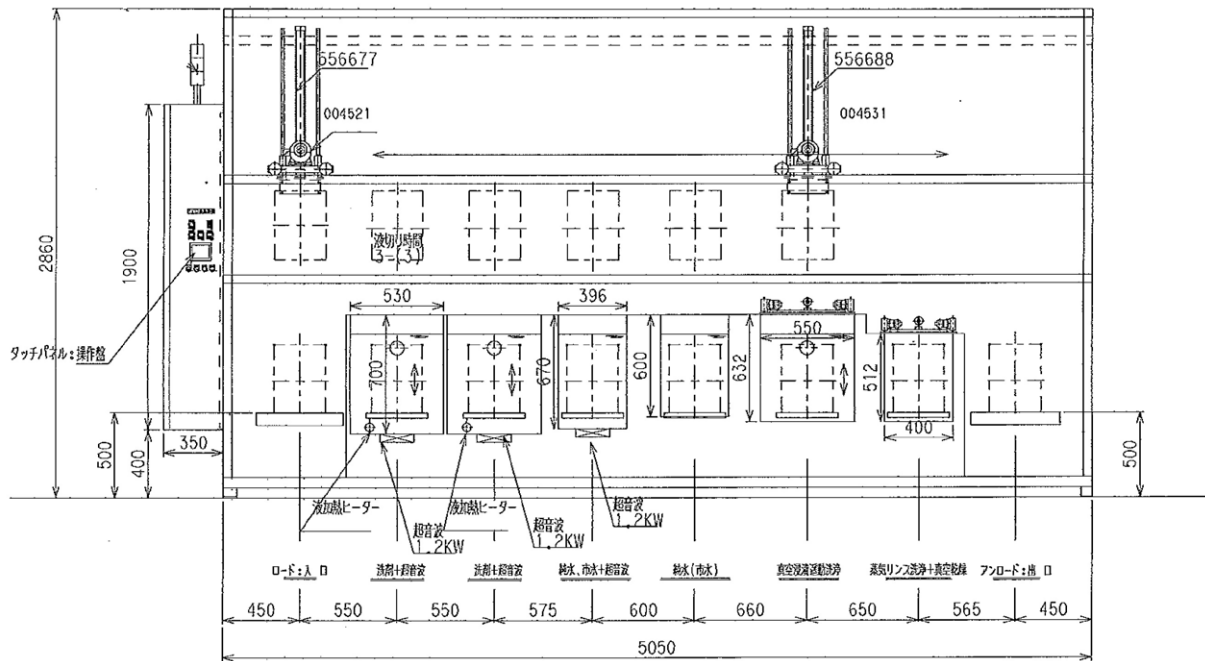


図1 6槽式全自動真空洗浄乾燥機（正面図）

マーで除去し、ワークに油分の再付着をなくす。さらにフィルターろ過器で不純物は連続ろ過する。2槽のため、これを2回繰り返す。なお、洗浄剤は定期的に更新する。その目安は油分濃度 3,000 ～ 15,000ppm の範囲で管理し洗浄性を判断し設定し、次の水洗にて付着した洗浄剤と汚れを除去する。

水洗第1槽目は、ワークに付着した洗浄剤の成分

である界面活性剤の除去と汚れの除去を完全にするため、超音波を併用する。給水は第2リンス槽から2段向流方式とする。この場合の水量は、1分間に5 ～ 15ℓの範囲で管理し設定する。リンス水は目的に応じ市水および純水を使用する。

次工程の真空洗浄では、洗浄剤として、連続蒸留できるグリコールエーテルを使用する。前工程から

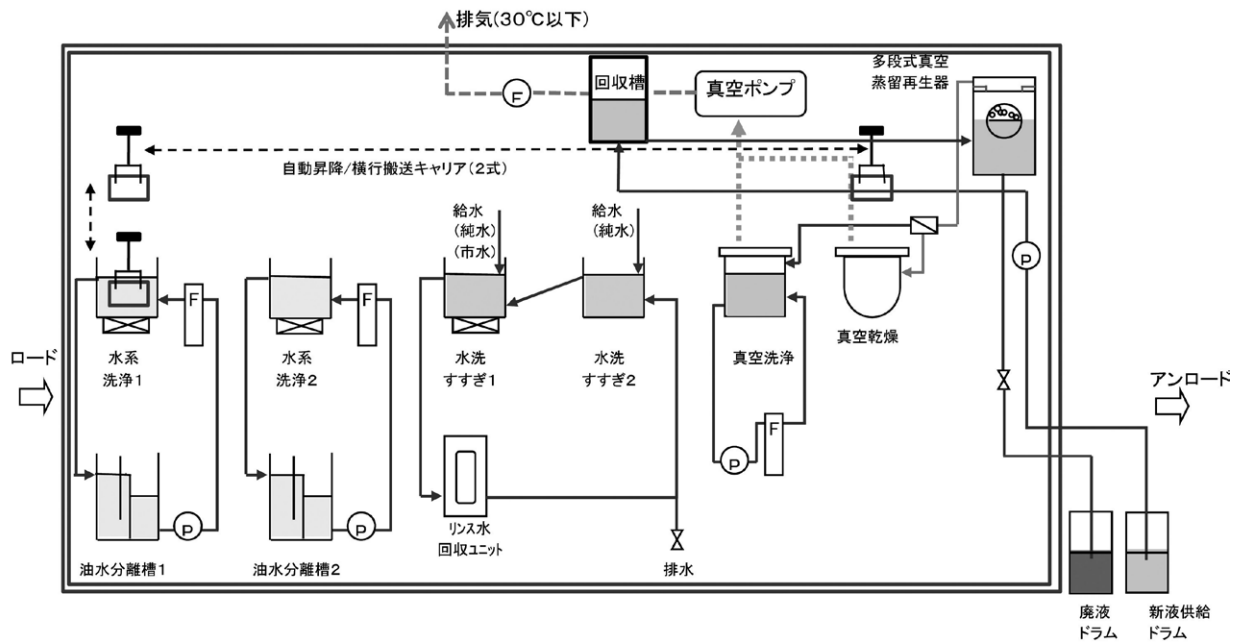
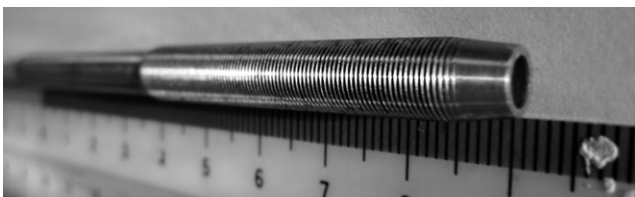


図4 6槽式真空洗浄乾燥機

表2 袋穴ワークにおける洗浄前後の残留油分分析結果



ワーク= 90ℓ×6φ・内部に 4φ20mm 袋ネジ穴あり

試料名	ノルマルヘキサン抽出物質 (mg/5本)
真空洗浄 ワーク：立て治具洗浄（600秒）	0.1以下
真空洗浄 ワーク：横置き洗浄（600秒）	0.1以下
有機溶剤（トリクロロエチレン）	5.4
水洗浄	8.0
洗浄前	11.7

測定法：JIS K 0102 ノルマルヘキサン抽出・重量法



写真3 多段式真空蒸留再生機

持ち込んだ水分の溶解除去と大気圧では除去しきれない微細な隙間の洗浄およびふくろ穴の内部の洗浄さらにワーク表面のプレス後のチル層（素材が圧着、圧縮してできた層）内部の油分、異物等の除去を行う。それらを真空と上下運動の組み合わせで促進させ完全洗浄する。なお、ふくろ穴の内部の洗浄方法は、弊社独自のフラッシュ洗浄法を採用して袋穴内部の洗浄を完全対応している（表2）。さらにフィルターろ過器で不純物は連続ろ過する。洗浄剤は連続

蒸留しているため、更新の必要はなくワークに付着して持ち出された量を補給する。

次の真空乾燥では、多段式真空蒸留機（写真3）から発生させた純度 99.9% のクリコールエーテルの蒸気にて仕上げ洗浄して、前工程で付着したわずかな油分および無機物の汚れを最終的に完全除去する。同時にワーク温度を上げ乾燥しやすい条件に設定する。その後一気に高真空にし、ワークに付着した洗浄剤を突沸乾燥させ、蒸気仕上げ洗浄と真空乾燥を

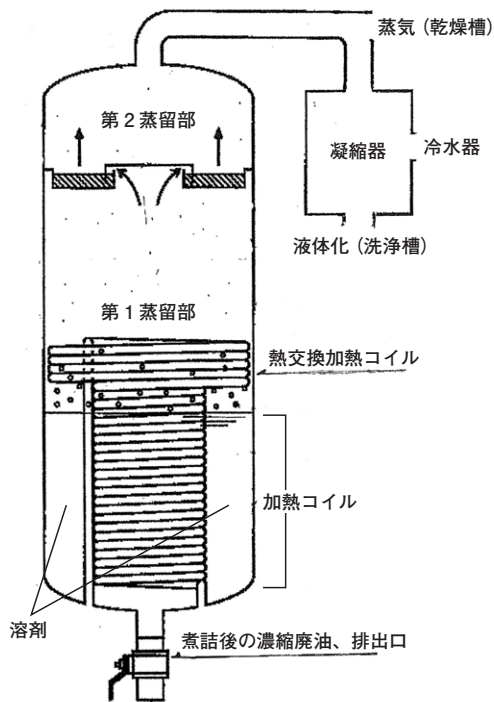


図5 多段式真空蒸留再生機の蒸留筒内部

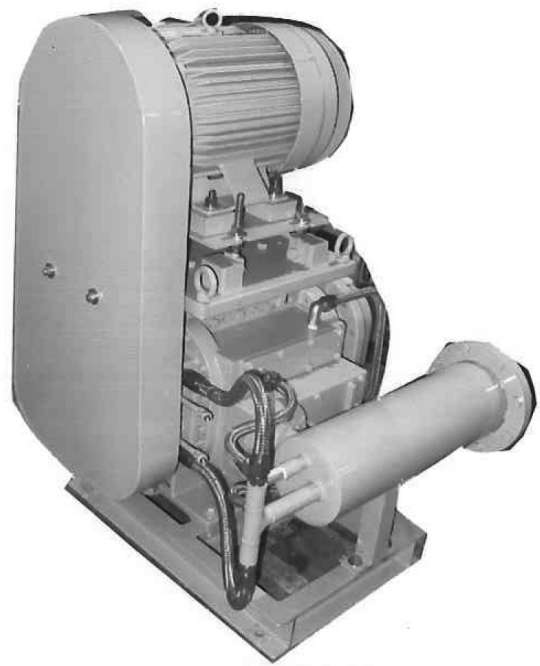


写真4 ドライルーツ式真空ポンプ

サイクルタイムの範囲内で組み合わせ設定する。

3.2 仕様

洗浄と乾燥後の品質は蒸留再生機の性能に依存する。弊社の蒸留再生機は、多段式真空蒸留再生機である。多段式とは、蒸留機内部の第1蒸留部で蒸留した洗浄液を同じ蒸留筒内上部にて再蒸留し純度を99.9%まで高める仕組みである（図5）。蒸留再生量は、1時間当たり平均200ℓであり、加熱方式は特別開発品の熱媒体オイルを使用した間接加熱方式である。熱源は標準電気ヒーター30kWを使用している。

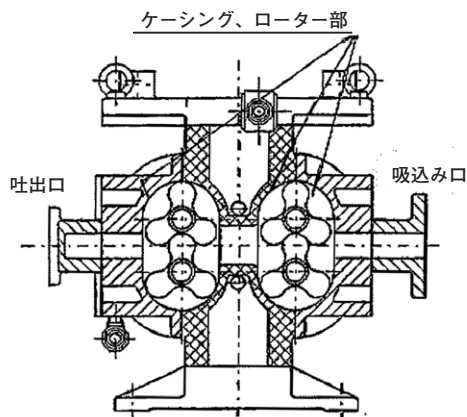


図6 ドライルーツ式真空ポンプの内部

なお、熱源は蒸気を使用することも可能であるが、蒸気の方がランニングコストも安全性も確保しやすい。構成部品として、循環ポンプ0.75kW、加熱コイル1.975kWを付帯しており、ともに安全防爆モーター仕様である。

次に真空ポンプであるが、弊社はケーシング内部に油・水を使用しないドライな多段ルーツ式真空ポンプ（写真4）を採用している。これはローターとシャフトが一体型の多段ローターからなり、0.1Paの高い到達圧力が得られる。軸封はドライシール仕様であり、内部潤滑剤を使用しないため、高真空側へ油の逆流がなく純度の高い真空が得られ、摩耗が少なく長期連続運転が可能で、維持管理が簡単である。モーター容量は5.5kW、排気量は1分当たり2300ℓと弊社仕様である（図6）。

ろ過装置は、水系洗浄槽2槽と真空洗浄槽と多段式真空蒸留再生機に付帯している。カートリッジフィルターは各2本を搭載している。カートリッジは、1～200μmの範囲でその目的に応じて選定する。液面計、液面センサー、ポンプには、圧力計および圧力スイッチを付帯している。ろ過ポンプは、水系洗浄用は0.4kW、1分間に30ℓの標準循環能力であり、真空洗浄槽用は、0.56kW、1分間に20ℓの

表3 一次側ユーティリティー詳細

項 目	必 要 量	接 続
電気	φ 3.200V 67kW 60Hz (蒸気使用の場合は 50kW 減で 17kW 必要)	制御盤ブレーカー
エアー	必要圧力：0.4MPa 以上 必要量：3600NL/min	1 B
排気	20m ³ /min ダクト工事が必要	φ 150
冷却水	必要流量：130 ℓ/min 冷却能力：37kW 機内圧損：25m	入口 2 B 出口 2 B
純水 (市水)	15 ℓ/min	1/2 B
洗浄剤排水 純水排水	15 ℓ/min	2 B 2 B
液量合計	1) 水系洗浄剤 600 ℓ 2) グリコールエーテル 220 ℓ	—

標準循環能力を有している。

超音波は水系洗浄槽 2 槽と第 1 水洗槽に取り付けており、1200W、28kHz 仕様である。なお、真空洗浄槽に取り付けの場合は、発信器も振動子も真空用に改造した超音波を使用し、その制御も真空用に開発した制御法を採用し超音波の故障に備えている。

搬送機は自動搬送方式で、上下はエアーシリンダーによる制御、走行はモーターによる制御である。上下は、遥動と液切りを兼ねた制御を組み込んでいる。

制御関係はシーケンサーとタッチパネルを組み合わせ、安全対策と防爆仕様に対応している。洗浄剤に第 4 類第 2 石油類水溶性を使用するため、安全対策として、液面検知、過加熱検知、安全増防爆モーター、異常時のための真空洗浄槽と乾燥槽の蓋自動開閉システム、エアーパージ、冷却水検知フロスイッチ、エアー検知システム、自動排気ファン、自動ダンパー、ガス濃度検知器、自動消火システム、非常停止、オイルパン、シグナルタワー、間接加熱方式、異常時自動電源切断システムなど採用し、制御とあわせ対応している。

1 次側ユーティリティーの詳細は、表 3 のとおりである。

4. 特徴

(1)多段式真空蒸留再生機の内蔵で、常時蒸留している。洗浄剤総量 220 ℓ に対し、再生量は時間当たり 200 ℓ のため、理論的には 2 時間 12 分で新液

となる。この結果、シミのない洗浄、乾燥が実現できている。なお蒸留された油は、煮詰め濃縮して排出し、排出した油は燃料助剤として再利用している。

(2)真空ポンプは、洗浄剤の液体をそのまま吸込むと、ポンプ内部で膨張して故障の原因となる。これは膨張した洗浄剤がポンプ内部のベアリング内部に侵入しグリースを溶解しそのためベアリングが損傷を受けるためである。この対策として弊社では、真空ポンプの吸込み口の配管すべてを加熱配管とし、吸い込んだ洗浄剤が蒸気のままで真空ポンプ内部を通過させるよう対策済みである。この対策後、真空ポンプの故障は皆無である。なお、この配管加熱には多段式真空蒸留再生機で使用した残りの熱媒体油を再利用しているため、新たな熱源の発生はない (図 7)。さらに、真空ポンプからの排気やミストの全てを排気回収タンクで冷却回収し、装置内でリサイクルしている。この対策で、洗浄剤の補給量削減によるコストダウン、あわせて環境対応を実現している。なお、本対応で排気ファンから装置外へ排出される排気温度は平均 28℃ 以下である。

(3)洗浄性については、水洗浄にあわせ、グリコールエーテルでの真空洗浄とさらに蒸気による仕上げ洗浄の繰り返しと、真空洗浄においては、ワークの遥動効果に加え、真空と大気を繰り返すフラッシュ洗浄方法で、袋穴などの難しい洗浄も完璧な

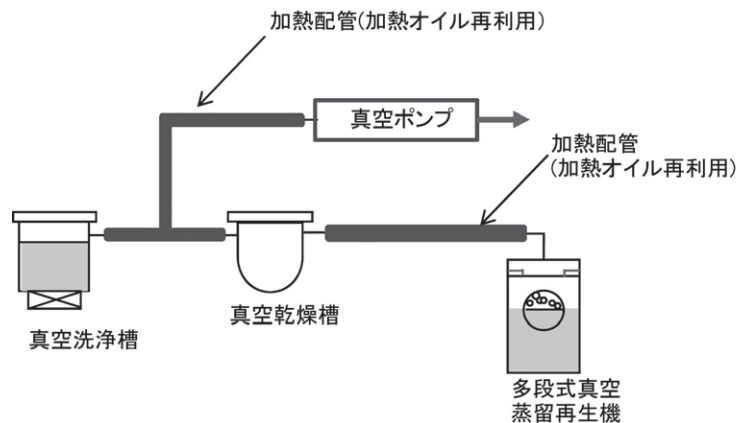


図7 真空ポンプの吸気管加熱システム

洗浄が可能となった（表2参照）。

- (4)真空乾燥においても、まずピュアな蒸気にてリンスし、その後一挙に高真空にし、洗浄剤の沸点を下げ突沸現象を伴い乾燥する。このとき真空と大気圧を繰り返すフラッシュ効果で、乾燥時間の短縮する機能を併せ持つ。酸素のない真空中で乾燥するため、酸化、変色、シミの発生がない。このため、後工程においても密着性が良くなり不良率を格段に下げることができる。
- (5)メンテナンスおよび故障対応も重要である。真空ポンプのオイル、グリース、熱媒体油など定期的に補充、交換を必要とするものは、その時期が来ればタッチパネル画面に警告し、あわせてシグナルタワーでブザーと黄色の点滅が表示し警告する。さらに機器故障の場合、自己診断機能でその箇所および対処方法がタッチパネル画面に表示されそ

の履歴が残るようにプログラムされている。

5. おわりに

自動車業界、精密部品業界、電子部品業界など、さらなる小型化、軽量化、精密化そしてコストダウンと事業の生存をかけた開発と進歩が求められている。われわれが携わる洗浄業界も表面処理業界もそれらに対応せざるを得ない。車も急速に電気化の時代に入り、もはや量産の時代に突入した。変わらねば生き延びることはできない。時代の変化に対する時代の要請である。

この現状を踏まえ、今後も産業洗浄に関する開発の実践で貢献していきたい。

(参考文献)

- 1) 日本産業洗浄協議会：洗浄市場規模調査結果報（2007）