水系洗浄剤向け過熱水蒸気式高速乾燥装置の開発

中部電力株式会社　技術開発本部　　長（おさ）　伸朗
株式会社ナステック　　瀬戸口　裕嗣
　　安藤　和広
株式会社大同　　永井　敬大

1　はじめに

自動車部品工場などで加工を終えた機械部品は、表面の油分や切粉等を洗浄した後、乾燥させて出荷している。その洗浄の際には、従来は有毒で引火性のある溶剤系洗浄剤が使用されてきたが、近年は無害な水系の洗浄剤が登場している。しかし、揮発性の強い溶剤系洗浄剤に比べて、水は乾燥に時間がかかるため、お客さまが水系洗浄剤を導入したくても断念する場合が多く、水分を高速に乾燥できる技術が求められていた。そこで、洗浄後の金属部品を短時間で乾燥できる過熱水蒸気式高速乾燥装置を開発した。

2　背景

（1）機械部品の洗浄方法

従来の水系超音波洗浄設備の外観写真を図１に示す。図２に示すように、洗浄設備は、洗浄・すすぎ・乾燥の３種類の装置で構成されている。図３に示す搬送用のバスケットに収納され、このバスケットをコンベアに吊るして移送することにより、洗浄･すすぎ･乾燥の順に各装置を移動する。各装置での所要時間は４分程度であり、洗浄から乾燥までの合計の所要時間は 16 分程度である。洗浄する機械部品は数 cm の大きさであり、バスケットの寸法は 22×32×25cmm である。

洗浄装置では、洗浄剤が溶解した水溶液が入った槽に機械部品を入れ、超音波による外力などを併用して、工業製品表面の切粉や油分を除去する。すすぎ装置には水が入っており、洗浄後の機械部品を入れ、表面の洗浄剤をすすぎ落とす。

図１　洗浄設備の外観

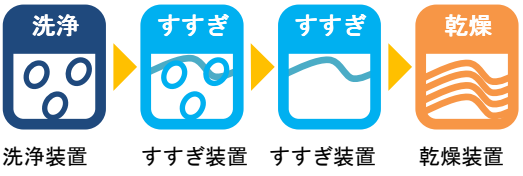


図２　洗浄設備の構成装置

図３　搬送用バスケット

（2）現状の乾燥方法

従来の熱風式の乾燥装置の外観を図４に、その乾燥室を図５に示す。乾燥装置では、60～200℃程度の熱風（高温の空気または燃

焼ガス）を工業製品に吹き付けて、表面の水分を乾燥させる。乾燥を促進させるために、モータ駆動の回転台の上に乗せて工業製品を回転させ、遠心力により水切りを行う場合もある。

（３）洗浄剤の種類と乾燥時間

機械部品の洗浄剤の種類は水系、準水系および溶剤系の３種類に大別され、乾燥する対象物や汚れの成分などにより使い分けられている。経済産業省の平成２０年度化学物質安全確保・国際規制対策推進等調査報告書（工業用洗浄剤の実態調査）によれば、平成１９年度の工業用洗浄剤の出荷量の合計は135,808トンであり、水系および準水系洗浄剤の全体に対する割合は、それぞれ27%および3%であり、溶剤系の割合は70%であった。

表１に示すように、溶剤系洗浄剤は洗浄能力が大きいものの、人体に有毒で引火性がある。これに対して、水系洗浄剤は洗浄能力が劣るものの、無害で引火性もなく安全である。このため、溶剤系洗浄剤を使っている工場で、汚れが除去しやすい機械部品を扱っている場合は、無害な水系洗浄剤の導入を要望する場合が多くあった。しかし、従来の熱風方式による乾燥では、揮発性の強い溶剤系に比べて、水系洗浄剤は乾燥に時間がかかるため、お客さまが水系洗浄剤を導入したくても断念する場合が多かった。

（４）過熱水蒸気の概要

過熱水蒸気とは、沸点より高い温度の乾いた水蒸気のことである。図６に示すように、例えば大気圧下では、水の沸点は100℃であるので、100℃の水蒸気は飽和水蒸気であり、110℃や200℃では過熱水蒸気である。産業用途や家庭用途では、大気圧近傍の低圧下で150～500℃の温度帯で使用されるのが一般的である。

過熱水蒸気には下記のような特長があるため、従来から使われてきた熱風に替わる高機能の加熱媒体として、近年注目を集めている。本開発品では、この過熱水蒸気を活用することとした。

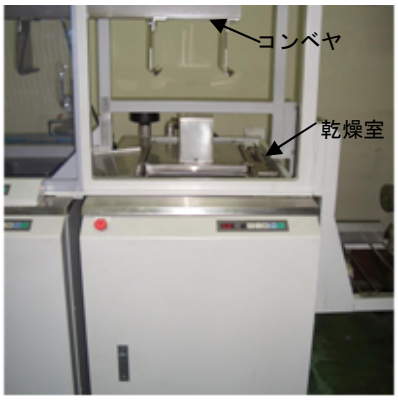


図４　現状の熱風式乾燥装置の外観

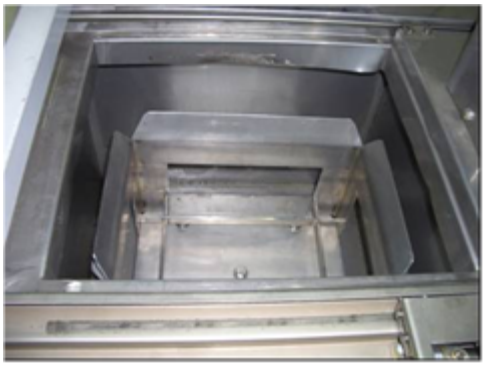


図５　現状の熱風式の乾燥室

表１　洗浄剤の比較

種類	成分	洗浄メカニズム	特徴
溶剤系	トリクロロエチレンなど	汚れを溶かす	・洗浄能力が大きい。 ・乾燥が早い。 ・人体に有毒である。 ・引火性がある。 ・コストが高い。 （洗浄剤の購入費）
水系	界面活性剤	汚れを剥がす	・洗浄能力が比較的小さい。 ・人体に無害である。 ・不燃性である。 ・毒性が少ない。 ・コストが安い。 ・洗浄力が弱い。 ・乾燥が遅い。

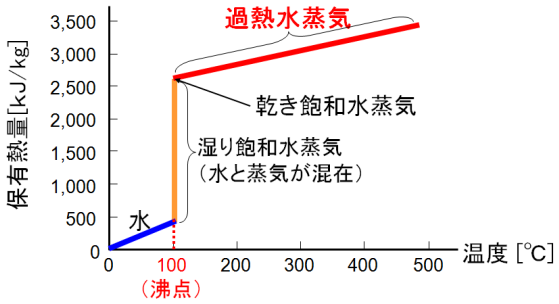


図６　水および水蒸気の状態（大気圧）

◆高速加熱が可能である。
◆温度ムラなく均一に製品を加熱できる。
◆内部の加熱が早い。
◆無酸素状態にできる。
◆洗浄効果がある。

過熱水蒸気を用いた乾燥のメカニズムは、以下の２種類の工程に分けられる。

①工程１（機械部品の温度が常温から 100℃になるまでの状態）…低温の機械部品に過熱水蒸気が接触すると、過熱水蒸気の一部は機械部品の表面に凝縮する。水蒸気は大量の凝縮潜熱を放出するため、機械部品は急速加熱される。

②工程２（機械部品の温度が 100℃の状態）…機械部品の温度が沸点に達すると、機械部品は温度を沸点に保ったまま､表面についた凝縮水が蒸発を始める｡供給した過熱水蒸気は、水の蒸発に熱を与えた分温度が低下して排気される。凝縮水がすべて蒸発すると、機械部品は沸点以上の温度に再び上昇し始める。

過熱水蒸気の伝熱の特徴は工程１にあり、伝熱効率のよい凝縮によって機械部品に大量の熱を伝えるため､機械部品の急速な昇温が可能となる｡熱風による乾燥ではこの工程１がないため、熱風による乾燥の所要時間は、過熱水蒸気による方式に比べて 5 倍から 10 倍程度になる。このため、過熱水蒸気を用いれば、熱風方式に比べて乾燥時間を大幅に短縮できる。

（５）開発の目的

水系洗浄剤を用いた洗浄において、すすぎ工程で機械部品の表面に付着する水分の乾燥に時間がかかるため、水分を短時間に乾燥できる技術が求められていたが、過熱水蒸気を活用すれば、蒸発しにくい水分の乾燥も短時間に行える。そこで、洗浄後の金属部品を短時間で乾燥できる過熱水蒸気式高速乾燥装置を開発することとした。

３　開発内容

（１）開発課題

◆乾燥時間の制約

実際の工場の洗浄設備のリードタイムは３分程度であるため､開発品の乾燥時間も３分以内にする必要がある。

◆複雑形状部品の乾燥

従来の熱風による乾燥方式でも、平板や丸棒などの単純な形状の部品は、3 分以内での乾燥が可能であった。しかし、図７および図８に示す凹凸の多い複雑な形状の部品では、乾燥に 10 分～1 時間を要する場合があった。具体的には、図７に示す袋穴と呼ばれる貫通していない穴や、図８に示す凹部に保持され水滴の乾燥に時間を要する。このため、複雑形状の部品でも３分以内に乾燥が可能とする必要がある。

◆蒸気流量の最小化

一般に、蒸気流量を大きくすれば、機械部品に供給する熱量が大きくなるため、乾燥時間を短縮できる。しかし、蒸気流量を大きくすると、エネルギー消費量が大きくなると共に、装置のコストおよび寸法が大きくなる恐

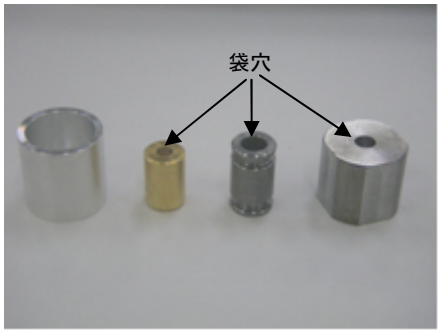


図７　袋穴のある複雑形状の部品

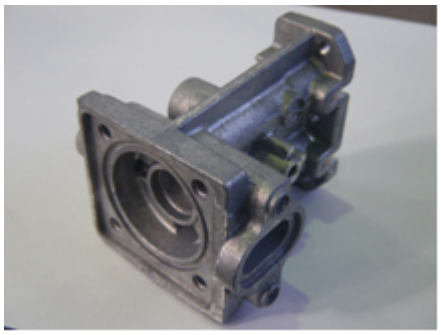


図８　凹凸のある複雑形状の部品

れがある。このため、蒸気流量を可能な限り小さくする必要がある。

◆蒸気分布の均一化

蒸気流量を小さくすると、乾燥室内の局所に蒸気が行き渡らず、図９に示すように、一部の部品で乾燥不良となる場合があり、特にバスケットの隅の部分が乾きにくい傾向がある。このため、蒸気流量を可能な限り小さくすると同時に、乾燥室内の蒸気の分布を均一にする必要がある。

◆蓋の開閉による乾燥装置内の温度低下

実際の乾燥工程においては、図１０に示すように、乾燥装置の蓋を１分程度開放して、乾燥後の部品を乾燥装置から搬出した後に、次の乾燥前の部品を乾燥装置内に搬入する。この蓋が開いた際に、乾燥装置内の過熱水蒸気が外気に放出されるため、乾燥装置内の温度は瞬時に低下する。この乾燥装置内の温度低下は乾燥能力の低下に繋がり、乾燥時間が延びることになるため、蓋を閉めた後に乾燥装置内の温度を急速に回復させる必要がある。

（２）開発のポイント

開発にあたっては、乾燥室の試作および乾燥試験を繰り返し、問題点を洗い出すと共に構造の最適化を行った。図１１に示すように、乾燥室（図１１中の１３）の内部に、バスケット（図１１中の２７）を隙間なく収容する箱状の収容体（図１１中の１９）を設ける。この収容体は、断面が長方形のパイプを格子状に組み合わせて形成されている。このパイプ内に過熱蒸気を流し、パイプの噴出孔から、バスケットに過熱蒸気を吹きつける。過熱蒸気を周囲に拡散することなく、バスケット内の部品に近接して吹きつけることがきるので、部品の乾燥性能を向上させることが可能となった。また、噴出孔を収容体の全面に設けているので、乾燥しにくかったバスケットの隅の部品にも十分な量の過熱蒸気を吹きつけることが可能となり、バスケット内の部品をくまなく乾燥させることが可能となった。また、過熱水蒸気が周囲に拡散せず、部品の乾燥に無駄なく過熱水蒸気が消費されるため、蒸気量の最小化

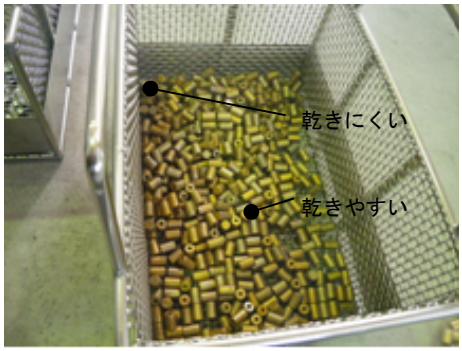
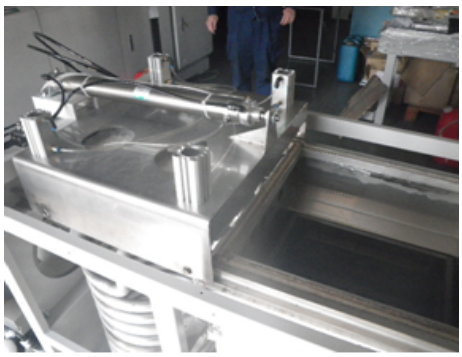


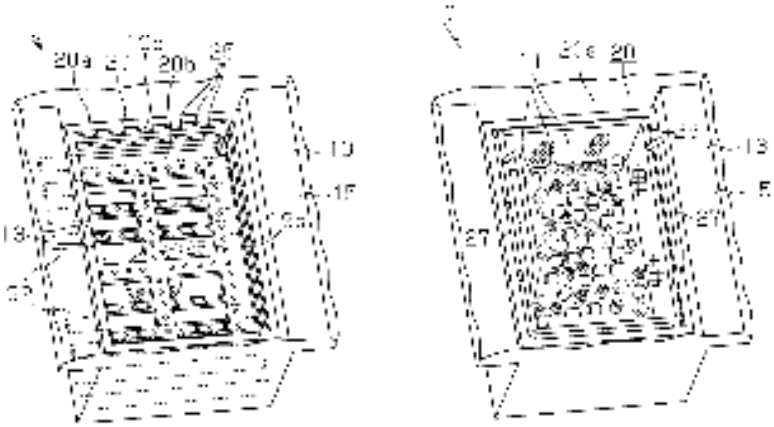
図９　乾燥度合の分布

①蓋を閉じた場合



②蓋を開けた場合

図１０　乾燥装置の蓋の開閉



①部品を収納していない場合　　②部品を収納した場合

図１１　乾燥室の構造

も可能となった。

また、収容体の下部に電気ヒータを設けた（図１１中の３２）。蓋の開放で乾燥室内は温度が瞬時に低下するが、電気ヒータで急速加熱することで乾燥室内の過熱蒸気を急速昇温できる。このため、乾燥性能の確保が可能となった。

なお、図１１に示した乾燥室の構造は、特許出願中である。

（３）評価

図７および図８に示した、多様な材質（アルミ、真鍮および鉄）および多様な形状の部品を使用して乾燥試験を実施した結果、どのような部品でも 3 分以内で乾燥できることを確認した。また、高温の過熱水蒸気が金属部品に接触すると、部品表面に染みが発生したり、寸法が変化する懸念があった。このため、乾燥前後の部品の表面性状および寸法を分析した結果、図１２に示すように、染みの発生および寸法の有意な変化は確認されなかったため、過熱水蒸気により乾燥しても部品に影響を与えないことを分かった。

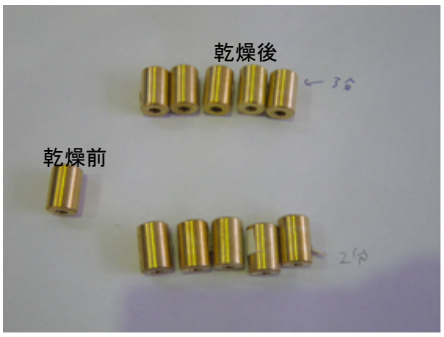


図１２　乾燥前後の金属部品

図１３　開発品を組み込んだ洗浄設備

４　開発品の仕様

（１）構成と仕様

図１３および表２に、開発品の外観および仕様を示す。開発品は、洗浄設備に組み込まれており、着色した装置が開発品である。洗浄およびすすぎの装置は従来と同じである。乾燥装置の背面には、7kW の小型の電気ボイラが設置されており、電気ボイラで発生したゲージ圧 0.1MPa の約 120℃の飽和蒸気が乾燥装置本体に供給される。供給された飽和蒸気は、乾燥装置内の電気ヒータで再加熱されて 400℃程度の過熱水蒸気となって乾燥室内に供給され、部品の乾燥に使用される。

表２　洗浄剤の比較

項目	単位	開発品
外径寸法	幅×奥行×高さ mm	606×1,360×1,010
内容量	L	20
電源容量	kW	25
バスケット寸法	幅×奥行×高さ mm	220×320×250
蒸気量	kg/h	7
過熱水蒸気温度	℃	150～250
据付面積（ボイラ含む）	幅×奥行 mm	800×1900
使用電源	－	AC200V 三相

（２）特長

開発品には、従来の熱風方式と比較して、次のような特長がある。

◆乾燥時間の大幅短縮

従来の熱風方式では、形状が複雑な機械部品では、部品の凹部にたまった水が蒸発しにくいため、従来の熱風方式では乾燥時間が 10 分～1 時間を要していた。本開発品では、過熱水蒸気を機械部品に照射することで、寸法が数 cm の金属部品を数百個単位で 3 分以内の乾燥が

可能となった。

◆高い安全性の実現

従来の有毒で引火性のある溶剤系の洗浄剤を使用する場合、洗浄ラインを爆発しにくい特殊な「防爆構造」にする必要であった。本開発品の導入により、引火性や毒性がない水系洗浄剤の採用が容易になり、洗浄ラインを簡易な構造にできると同時に、工場の作業環境が安全になる。

◆洗浄剤コストの削減

本開発品の導入により、従来は工場の負担であった溶剤系洗浄剤の購入コストを削減できる。また、工場 1 件あたりの溶剤系の洗浄剤の消費量は、年間 1～10 トン程度である（ナステック調べ)。このため、本開発品の導入によって水系洗浄剤を使用するようになれば、工場 1 件あたり年間 1～10 トン程度の溶剤系洗浄剤の使用を取りやめることができ、年間 500～5,000 千円程度の洗浄剤の購入コストの削減が可能となる（ナステック調べ)。

５　環境負荷の削減効果

前述の経済産業省の報告書によれば、溶剤系洗浄剤の平成１９年度の全国の年間出荷量は 94,574 トンであった。そのうちの 1%を、本開発品の導入により廃止できると仮定すれば、全国で 1,000 トン程度の溶剤系洗浄剤の使用を取りやめることができる。なお、溶剤系洗浄剤を洗浄設備に充填する際や使用済みの洗浄剤を廃棄する際には、相当量の洗浄剤が大気中に放散されると言われている。

６　おわりに

本開発品は、平成 24 年 10 月に株式会社ナステックから発売した。今後は、工場の洗浄ラインを対象に普及を図ることで、工場の環境性向上およびコスト削減に貢献したい。

なお、過熱水蒸気の乾燥における有用性は従前から言われていたが、これまでの過熱水蒸気式の乾燥装置はオーダーメードの一品ものにとどまっていた。しかし、今回初めて、洗浄設備に組み込んだ汎用的かつ実用的な乾燥装置の製品化に成功した。本開発品の乾燥対象は数ｃｍ程度の小さい寸法の金属部品であったが、今後は、より大きな寸法の金属部品や樹脂部品の乾燥に開発品の技術を活かしていきたい。また、乾燥用途のみならず、食品工場の加熱調理用途や機械工場の熱処理用途等にも、本技術の適用分野を拡大していきたい。