

# 特集 自動車部品における洗浄のニーズと当社の環境への取り組み\*

## Need for a Cleaning Process for Automotive Parts and Environmental Approach

柳川 敬太  
Keita YANAGAWA

In the manufacturing processes of automotive parts, the cleaning process is positioned as the preliminary process of each primary process. However, recently, the importance of the cleaning process has been increasing according to the expansion of the strict requirements for the precision and compactness of automotive parts. The cleaning process is where foreign materials that have become adhered to a work-piece in the previous process are removed to secure the quality of the subsequent process.

Since the cleaning process is deeply linked to the global environment, the design of the cleaning process has to be decided after deep consideration of the environmental protection and the required quantitative quality level, in addition to the overall quality and cost. Cleaning methods are classified into the dry type and wet type. Especially, for wet type cleaning, it is necessary to consider energy saving and reduction of VOC emissions. This paper describes the design concept of the cleaning process and an approach to environmental protection in the cleaning technology area of the company.

**Key words:** Cleaning, Ozone-depleting substances, Chlorofluorocarbon, Organic chlorinated compounds, HC-UV45, Energy conservation, Volatile organic compounds

### 1. はじめに

自動車部品の製造過程において、洗浄は各処理加工の前処理という位置付けであったが、製品の小型・精密化に伴い洗浄の重要性が高まりつつある。一方、洗浄は製品に付加価値を与えない特異な加工技術ともいわれる。従って、製品競争力の向上には洗浄工程の合理化を追究し、コストミニマムな手法を選択することが必要である。

更に、洗浄と地球環境との関わりも深く、洗浄工程を設計するには品質・コストに加え環境に優しい洗浄方法を選択しなければならない。

本論文では、当社の洗浄工程設計の考え方と洗浄分野における環境への取り組みを紹介する。<sup>1)2)</sup>

### 2. 洗浄の目的

自動車部品の製造における洗浄とは、製品の信頼性や後工程の品質を確保するために、機械加工などの前工程で付着した汚れを除去する処理である (Fig. 1)。例えば、金属加工部品では前工程の切削やプレスで使用する加工油を洗浄する脱脂や加工時に発生する切粉を取り除く異物除去が主な洗浄の目的である。これらの洗浄が不十分であると、めっきや塗装などの表面処理

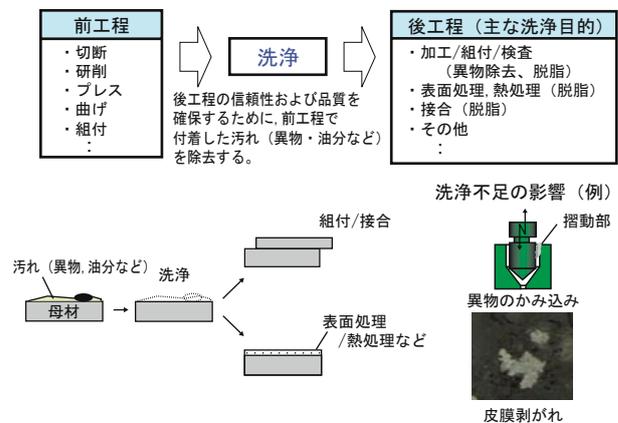


Fig. 1 Purpose of cleaning

部品では、皮膜剥がれにつながり、精密な部品では、部品同士の組み付け不良や製品の作動不良を引き起こす。また、リレー部品などでは、接点部に付着した汚れが導通不良を引き起こす。

なお、これらの不具合がよく混同されるのが加工工程で生じる「バリ」による弊害である。この「バリ」は基本的には洗浄で除去できないものであり、洗浄に関する問題とは区別して考える必要がある。洗浄で対象となる汚れは、あくまでも製品または部品の表面に

\* (社)日本能率協会の了解を得て、TECHNO-FRONTIER2008「第1回電子部品洗浄技術シンポジウム」テキストより一部加筆して転載

付着しているものであり、「バリ」のように素材と一体化したようなものは研磨や電解加工などの加工で対策を実施すべきで、洗浄の対象汚れとは層別される。

### 3. 塩素系溶剤廃止への取り組み

当社はかつて塩素系溶剤のトリクロロエチレンやオゾン層破壊物質である CFC (chlorofluorocarbon) -113 および 1,1,1-トリクロロエタンを部品洗浄剤として使用していた。

トリクロロエチレンは地下水汚染の防止から 1989 年末に使用を廃止している。CFC-113 は車載用のプリント基板などはんだ付け後のフラックス除去や燃料噴射部品に代表される精密機械加工部品の異物除去洗浄剤として用いられていた。一方、1,1,1-トリクロロエタンはカーエアコンやラジエータなどの熱交換器のろう付け部品や熱処理部品の脱脂洗浄剤として用いられていた。

このような状況に対し、当社ではオゾン層保護に関する国際的な規制措置（モントリオール議定書）に先行した「環境行動計画」を掲げ、CFC-113 は 1994 年 12 月末、1,1,1-トリクロロエタンは 1995 年 8 月末に全廃した。また、CFC-113 の代替剤として HCFC (hydrochlorofluorocarbon) -225 を 1995 年より使用していたが、HCFC についても早期全廃に向けての技術開発を進め、2000 年 3 月末にその使用を廃止し、現在では有害な塩素系溶剤やオゾン層破壊物質を使用しない洗浄工程を実現している (Fig. 2)。

### 4. 洗浄工程設計手順

Table 1 に洗浄工程の設計手順を示す。洗浄工程を設計するには、まず洗浄の目的とその必要性を検証することが重要である。具体的には単純に洗浄を廃止した場合、どのような不具合が予想されるか確認し、前後工程の変更も含め可能な限り洗浄が廃止できないかを検

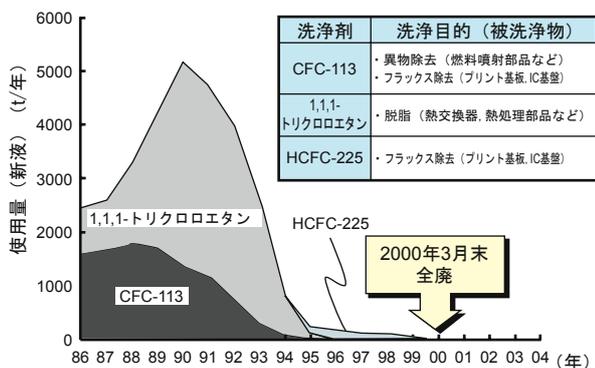


Fig. 2 Consumption of specified CFCs

討する。そして何らかの洗浄が必要と判断された場合、初めて洗浄方法を検討する。

特に、水質・大気・オゾン層に有害な塩素系や臭素系溶剤は使用しないことを原則とし、品質・コスト・環境より最適な手法を選択する。ここで最も重要なことは要求品質を明確にすることである。洗浄に要求される品質 (清浄度) はその製品や部品にとって適正な品質でなければならない。言うまでもないが、過剰な品質を設定すると洗浄コストのアップにつながる。また、「異物なきこと」あるいは「油分なきこと」といった曖昧な要求も不適切である。要求品質を見極めることが、合理的な洗浄方法を選択できることになる。

### 5. 部品清浄度の検査方法

当社では部品の清浄度検査方法として Fig. 3 に示す項目を規定している。いずれの検査方法も清浄度を検査したい試料 (部品) より、汚染物 (粒子・油分・フラックス・イオン) を抽出し、その抽出液を測定する。清浄度は部品の単位面積当りの測定値として定量化することを基本としている。

粒子個数は顕微鏡法と光遮断式計数器法で測定している。前者は抽出液をメンブランフィルタ (0.45 ~ 8 μm) でろ過し、フィルタ上に採取した粒子を画像処理

Table 1 Design procedure of cleaning process

手順	検討内容
①洗浄目的の明確化	・単純に洗浄を廃止した場合どのような不具合が予想されるか確認する。 ・類似製品の洗浄に係わる過去の品質問題を調査する。 ・前後工程の変更も含め、洗浄廃止の可能性を検討する。
②要求品質の明確化	・要求品質 (適正な品質) を明確にし、定量化する。 ＜例＞清浄度品質規格 油分なきこと ← × 付着油分量; 5 mg/dm <sup>2</sup> 以下 ← ○
③洗浄方法の最適化	・経済性、信頼性、環境性を考慮し、最適な方法を選定する。
④設備仕様書の作成	・設備設計依頼書を設計、使用部署など、関係部署と協議の上作成する。

<粒子個数> <粒子重量> <付着油分> <付着イオン>

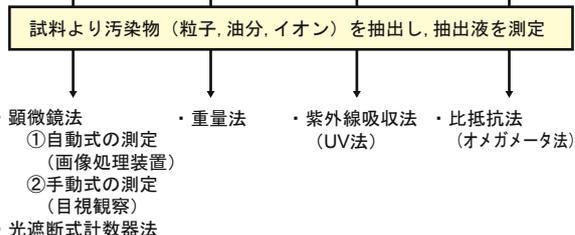


Fig. 3 Inspection method of cleanliness level

装置や拡大鏡などで大きさや数を観測する。後者は抽出液を液体用のパーティクルカウンタで、粒子径毎の粒子数（粒度分布）を測定し、作動油中の粒子を管理する汚染度等級（NAS1638）などで表したりする。

粒子重量は抽出液をメンブランフィルタ（0.45～10 μm）でろ過し、フィルタ上に採取した粒子の重量を測定する。粒子重量の検査は機械加工部品に適用され、ブレーキコントロールシステムの構成部品などでは、1 mg/dm<sup>2</sup>以下としている。

付着油分は部品に付着した油分やフラックスの定量検査方法である。従来当社では、赤外線吸収法による定量検査を実施していた（Table 2）。油脂類のC-H結合による赤外線波長の吸収量から油分を定量するものがあったが、四塩化炭素やテトラクロロエチレンなど有害な塩素系溶剤を抽出剤として使用しなければならなかった。当社では、塩素系溶剤を使用しない油分の定量検査法を開発し2005年より実用化している。Fig. 4にその検査要領を示す。炭化水素系の油分抽出溶剤HC-UV45<sup>(3)(4)</sup>へ部品に付着した油分を抽出し、抽出液を紫外分光光度計にて、ベンジルアルコールを標準物質として265 nmの紫外光の吸収で定量する。この赤外線吸収法によれば、250 nm以上の紫外光領域に吸収のある油脂類について、その付着量を定量することが可能である。

付着イオンはプリント基板やIC基板など、エレクトロニクス部品に適用される。その測定方法はオメガメータ法とも呼ばれ、純水/IPAの混合溶剤へ溶出するイオン量をその電気抵抗からNaCl換算で定量する。

その他、簡便な清浄度検査としてぬれ性を評価する方法がある。検査液を部品に付着させ、検査液がぬれ広がる箇所は清浄であり、ぬれない（はじく）箇所は汚れが付着していると判定するもので、洗浄不良箇所を判別することができる。一般的なぬれ性検査液として水やスチームあるいは、ぬれ張力試験液（JIS K 6768）などが用いられる。水によるぬれ性評価はモノレイヤーレベルの汚れを検出することが可能であるが、機械加工部品の洗浄性を評価するには検出感度が高く、無色透明のため判定し難い。一方、ぬれ張力試験液は有害な成分を含有し引火性も有するため、比較的広い領域のぬれ性を判別する作業には適当ではない。当社では作業の安全性が高く、かつ機械加工部品の洗浄性を判定するのに適したぬれ性検査液（カーボンブラック分散液）を規定している。

### 6. 洗浄方法概論

洗浄方法は付着している汚れの性状から必要な汚れの除去機構が選択され、適正な洗浄方法が決定される。洗浄方法は「湿式」「乾式」に分類される他に、「化学的」「物理的」に分類することもできる。

自動車部品の洗浄では洗浄効率の点から化学作用と物理作用を組み合わせ使用する場合が多く、「アルカリ超音波洗浄」などと表現することがある。また洗浄剤は、水系と非水系に大別される。

水系は不燃性で他に比べ毒性が低いものの、適正な排水処理を施す必要がある。一方、非水系は炭化水素系やアルコールなどの可燃性液体やフッ素系などの不燃性液体がある。洗浄剤は、再生することができるものが多く、クローズド型（循環型）の洗浄システムを構築できるが、安全性（引火性、毒性など）や地球環境への影響を十分に考慮しなければならない。近年、水系と非水系の混合系としてグリコールエーテルなどの準水系洗浄剤がある。特性としては水系に近く水系洗浄剤の一つとして分類しているが、はんだ付けフラックスなど複合的な汚れの洗浄に有効である。

Table 2 Transition of analysis method of oil residue

検査方法	1980年～1996年	1997年～2004年	2005年～
	赤外線吸収法（IR法）		紫外線吸収法（UV法）
油分抽出溶剤	四塩化炭素	テトラクロロエチレン	炭化水素系溶剤 HC-UV45
標準物質	OCB混合標準液	OCB混合標準液	ベンジルアルコール
検査原理	油脂類のC-H結合による赤外線波長（3.4～3.5 μm）の吸収量から油分を定量		油脂類と抽出溶剤との紫外光（210～350 nm）領域における吸収差から油分を定量 (特許第3989220号)

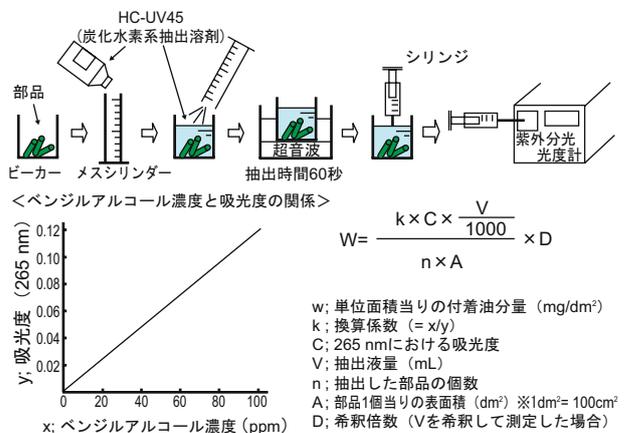


Fig. 4 Measurement method of oil residue by ultraviolet absorption

Table 3 に乾式洗浄と湿式洗浄の特徴を示す。湿式洗浄は洗浄液の作用も加わるため、乾式洗浄に比べ洗浄性が優れることから広く用いられている。しかしその反面、工程数が多くなり環境への負荷も大きくなる。従って、湿式洗浄は合理性・環境負荷の点で課題が多い方法といえる。なお、Table 4 に当社における洗浄部品別の具体的な洗浄方法を示す。

### 7. 湿式洗浄の環境負荷低減の取り組み

#### 7.1 CO<sub>2</sub> 排出量削減（省エネ化）

湿式洗浄の工程は汚れを洗浄液により除去する「洗浄工程」、洗浄液を除去する「すすぎ工程」、更にすすぎ液を除去する「液切り・乾燥工程」からなる。環境負荷という観点からみると、湿式洗浄は洗浄液の加熱やすすぎ液の乾燥除去に要するエネルギーの消費が多く、省エネ化が課題である（Fig. 5）。Table 5 に湿式水系洗浄における省エネ化の考え方を示すが、常温使用可能な洗浄剤の「洗浄工程」への適用や高速乾燥と言った「液切り・乾燥工程」の合理化がキー技術となる。

これまでの湿式洗浄における乾燥技術は熱風などによる蒸発乾燥が多い。しかし、蒸発乾燥の場合、その生

産性を確保するため液切りなどの前処理が必要である上、乾燥温度が高いと後処理として乾燥後の冷却も考慮しなければならず、蒸発乾燥は合理性に欠けるといえる。Table 6 に湿式洗浄における乾燥方法を示すが、合理的な乾燥方法としては蒸発乾燥よりも飛散・吸引乾燥が有効であり、なかでも置換乾燥や吸引乾燥といった省エネ乾燥方法の導入を推進している。例えば Table 7 に示すように、従来の熱風乾燥に替わり置換乾燥などの高速に乾燥できる技術を導入することで、工

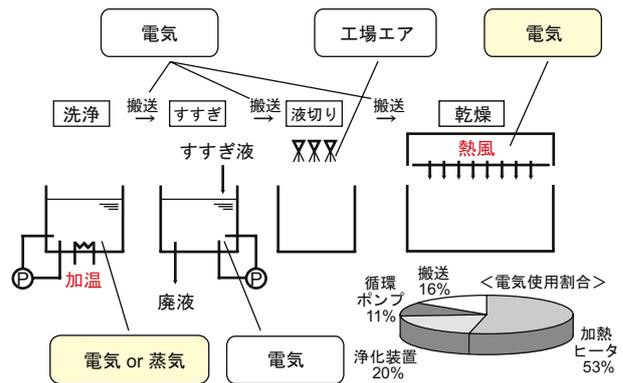


Fig. 5 Energy consumption of wet type cleaning process

Table 3 Comparison of cleaning methods

洗浄方法	洗浄液	洗浄性	工程数 (合理性)	環境負荷	適用分野 (後工程)			
					組付/めっき加工	塗装	熱処理	接合
乾式洗浄	エア洗浄	低	少	小	●	—	—	—
	加熱酸化洗浄 (含真空酸化洗浄)				●	—	—	●
湿式洗浄	非水系 炭化水素系洗浄 (含アルコール洗浄)				●	—	●	—
	水系 アルカリ洗浄 (含湯洗浄)				●	●	●	●
	水系 グリコールエーテル系洗浄	●	—	—	—			

Table 5 Energy saving in wet type cleaning

	洗浄・水洗工程	液切り・乾燥工程
エネルギーの転換	・電気ヒータ→スチーム化	・エアブロー→プロアファン ・電気ヒータ→ガス化 (80℃以下ならスチーム化)
操業方法の改善	・立上げ時間の適正化 ・操業時間外の不要運転停止 (給水、ポンプ、コンベアなど)	・立上げ時間の適正化 ・昇温時の排気損失の低減 ・非稼働時の低温化
エネルギーロス再利用	・スプレー式→ディップ式 ・開口部の削減、密閉化 ・槽間の間仕切り ・スチーム復水熱の利用 ・熱損失の防止 (保温材など)	・省エネブローノズル ・開口部の削減、密閉化 ・排気風量の適正化 ・廃熱回収
加工処理技術	・工程の廃止/条件適正化 ・適正品質の見極め ・ <u>浴温度の低温 (常温)、短時間化</u>	・持込み水分量の低減 ・ <u>低温、短時間化</u>

省エネ洗浄のキー技術

常温型洗浄技術      高速乾燥技術

Table 4 Cleaning methods by cleaning parts

洗浄部品	湿式洗浄		乾式洗浄		無洗浄
	水系	非水系	加熱酸化	エア/光	
ディスプレイ部品	・水洗浄 (ガラス基板)	—	—	・UV洗浄 (ガラス基板)	—
電子部品	・水系洗浄 (プリント基板)	—		・プラズマ洗浄	・失活性フラックス ・低活性フラックス
IC部品	・水系洗浄 (ウェハ) ・グリコールエーテル系洗浄 (HIC基板)	・フッ素系洗浄 (HIC基板)	・大気加熱酸化	—	—
機械加工部品	・湯洗浄 ・アルカリ洗浄 ・グリコールエーテル系洗浄	・炭化水素系洗浄 ・グリコールエーテル/フッ素系洗浄 ・炭化水素/フッ素系洗浄		・エア洗浄 (接点部品)	・速乾性加工油 ・無潤滑組付
ろう付部品	・湯洗浄 ・アルカリ洗浄	—		—	—
熱処理部品	・アルカリ洗浄	・炭化水素系洗浄+真空酸化	—	—	—

Table 6 Energy saving drying technology

方式	エネルギー		基本工程 (●: 必要)		
	必要量	ロス量	前処理	乾燥	後処理
蒸発	大	大	●	●	●
			●	●	●
			●	●	●
			●	●	—
飛散	少	少	—	●	—
			—	●	—
吸引	少	少	—	●	●
			—	●	●
			—	●	—
			—	●	—

省エネ乾燥法

Table 7 Effect of smaller cleaning equipment

洗 浄 工 程	設備1台当りの効果 (指数)		
	設備面積	ランニングコスト	CO <sub>2</sub> 排出量
<p>課題: ①液切り乾燥の負荷が高く設備大型化 ②液切り乾燥性確保のためバッチ処理採用</p> <p>バッチ処理 洗浄 → すすぎ → 液切り → 乾燥 (熱風) → 冷却</p>	1	1	1
<p>バッチ処理 洗浄 → すすぎ → 液切り → 高速乾燥</p>	0.5	0.7	0.6
<p>1個処理 (連続洗浄) 高速洗浄+高速乾燥</p> <p>加工ライン (1個処理) → 洗浄 → 組付ライン (1個処理) インライン化</p> <p>品質向上・品質保証</p>	0.1	0.6	0.4

程の合理化および省エネ化を図ることができる。

また、生産システム面では高品質・高効率を追求したニーズが高くなっている。すなわち、洗浄部品をバッチ処理から1個処理へと流動形態を小ロット化することで、品質の信頼性を向上させることを目的とする。1個処理の場合、前後工程と一貫した自動化ラインのように、同種の部品が多数個生産されることが必要条件となるが、被洗浄部品毎に最適な洗浄方法が選定できるので、品質も安定し設備も小型でかつ省エネ化が実現できる。

特に、1個処理では部品の搬送方式や被洗浄部品の形状により様々な工法が考えられ、高速乾燥技術に加え高速洗浄または連続洗浄といった工法が要求される。

7.2 VOC 排出量削減

2004年に大気汚染防止法が改正され、浮遊粒子状物質および光化学オキシダントによる大気汚染を防止するため、その原因物質の一つであるVOC (Volatile Organic Compounds) の排出または飛散の抑制を図ることが2006年より義務付けられた。炭化水素系洗浄剤はこのVOCに該当する。法的には洗浄剤が空気に接する面の面積が5㎡以上の工業用洗浄施設および洗浄後の乾燥施設が対象となるが、非対象設備であっても排出抑制に努める必要がある。

当社では2010年までにVOC排出量を2000年比の35%削減の目標を掲げ、自主的な排出抑制の取り組みを行っている。削減対象はアルコール類および第1石油類および第2石油類に該当する引火点70℃未満の炭化水素系洗浄剤で、なおかつ熱風乾燥などの開放系の液切り乾燥を行う洗浄設備とした (Fig. 6)。

VOC排出抑制の具体的な手段をTable 8に示す。洗浄液の蒸発ロス防止や持ち出し量低減といった工程改

■対象物質

- ・アルコール類の洗浄液
- ・第4類第1石油類、第2石油類の炭化水素系洗浄液

■算定方法 [排出係数法]

$$\text{VOC大気排出量 (ty)} = \text{使用量 (ty)} \times \text{排出係数 (下表)}$$

〈洗浄液の乾燥方式と排出係数〉

分類	開放系	密閉系	
乾燥方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱風乾燥</li> <li>・吸引乾燥</li> <li>・遠心乾燥</li> <li>・エアブロー乾燥</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排ガス除去装置<sup>(注)</sup>を備えた乾燥</li> <li>・フッ素系溶剤 (HFE) による置換乾燥</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・真空 (減圧) 乾燥</li> </ul>
排出係数	0.8	0	0.1

削減対策必要

注) 活性炭吸着、燃焼、触媒酸化などの排ガス処理装置

Fig. 6 Reduction of VOC emission

Table 8 Reduction method of VOC emission

	内容	特徴
低減	洗浄工程の改善 例) 1) 洗浄液の蒸発ロス防止 2) 洗浄液持ち出し量の低減 等	・対策が比較的容易で低コスト
	真空 (減圧) 乾燥等の密閉式洗浄装置への切替え	・設備の更新が必要 ・洗浄液使用量の削減効果あり
廃止	低VOC洗浄液 (第3石油類) への切替え	・設備条件 (乾燥等) の見直しが必要な場合がある
	非VOC洗浄液 (水系) への切替え	・設備の更新が必要 ・洗浄品質の確保 ・排水処理、省エネ対策は不可欠
除去・回収	排ガス除去・回収装置の設置	・設備投資が必要 ・除去装置のエネルギー消費 (ランニングコスト) が付加 ・回収液の再利用ができなければ有効
	フッ素系溶剤 (HFE) による置換乾燥の導入	・設備の改造または更新が必要 ・低VOC洗浄液との組合せが有効 ・フッ素系溶剤のロス対策は不可欠

善や真空乾燥などの密閉式洗浄装置への切替え、あるいは冷却凝縮式の排ガス回収装置などの設置を進めている。

また、低VOC洗浄液や非VOC洗浄液 (水系) への切替えも対策の一つといえる。低VOC洗浄液であっても排出抑制の対策を併用するとともに、洗浄液の切替えによりCO<sub>2</sub>の排出量を増やしては意味がなく、省エネ対策も不可欠である。特に、炭化水素系洗浄の場合、HFE (hydrofluoroether) などのフッ素系溶剤による置換乾燥も有効な手段といえる。フッ素系溶剤による置換乾燥とは炭化水素系洗浄剤とフッ素系溶剤が相溶する性質を利用して、炭化水素系洗浄剤を軽質なフッ素系溶剤に置換するものである。後処理としてフッ素系溶剤を溶剤蒸気で乾燥する必要があるが、トータルで見れば少ないエネルギーで乾燥処理できるため、VOC排出量削減と省エネ化を両立する技術といえる。

## 8. おわりに

自動車部品の洗浄はバッチ処理による生産性向上の他、小型設備によるインライン洗浄のニーズがますます高くなる。合理的でなおかつ環境に優しい洗浄方法は、自然媒体を利用した洗浄や循環型の洗浄技術がベースになると考える。その実現には洗浄技術に加え、回収・再生といった周辺技術の研究開発が課題といえる。

## <参考文献>

- 1) 柳川敬太: “自動車部品洗浄の技術動向”, 第26回 JICC 洗浄技術セミナー予稿集, 日本産業洗浄協議会 (2006).
- 2) 柳川敬太: “自動車部品の洗浄と評価技術”, 産業洗浄, No.1 (2008), pp. 8-13.
- 3) 岩部一宏, 柳川敬太: “ノンハロゲン系抽出溶剤 HC-UV45 による被洗浄物の清浄度評価”, 第12回洗浄技術フォーラム 2008 講演集, 日本産業洗浄協議会 (2008), pp. 37-45.
- 4) 岩部一宏: “炭化水素系油分測定用抽出剤 HC-UV45 による被洗浄物の清浄度評価”, 産業洗浄, No.3 (2009), pp. 30-36.



## <著 者>



柳川 敬太

(やながわ けいた)

生産技術開発部

洗浄に関する要素技術の研究開発  
に従事