ノート

環境負荷低減に向けた洗浄技術に関する研究 3

内藤　隆之*　大川原　真*　皆川　森夫*

Cleaning Technique for Environmental Load Reduction (III)

NAITO Takayuki*, OKAWARA Makoto* and MINAGAWA Morio*

1. 緒　　言

トリクロロエチレンは洗浄溶媒として広く使われてきたが，発がんなどの健康被害のリスクがあるため，大気中の濃度に大気環境基準が設けられ，常時監視されている物質である。全国的に新潟県，特に県央地域はトリクロロエチレンの排出量が多く，大気濃度も高い状態が続いていることから，新潟県では「トリクロロエチレンの排出抑制に向けた自主的取組ガイドライン」[1]を策定するなど，排出量の削減を目指している。ガイドラインでは，排出抑制方法として洗浄操作や洗浄装置などを見直すことを薦めている。一方，トリクロロエチレンの代替案としてアルカリ洗浄剤による水洗浄や炭化水素系洗浄剤，その他ハロゲン系洗浄剤などの溶剤洗浄が検討されているが，性能やコスト面でトリクロロエチレンに替わる有効な洗浄剤や洗浄方法が見つかっていないのが現状である。

本研究では，トリクロロエチレンに替わる洗浄方法を探索することを目的とし，一昨年度は，金属表面の洗浄力を評価する方法を検討した結果，赤外分光分析における高感度反射測定の有効性を確認した [2]。昨年度は，アルカリ電解水と蒸留水を用いた浸漬洗浄について超音波照射による洗浄力の比較検討を当該高感度反射測定で行い，アルカリ電解水の洗浄力が高いこと，また，被洗浄材表面の濡れ性向上が洗浄力を高めることを確認した [3]。今年度は，更なる洗浄力向上を目標に，親水性を改善した被洗浄材表面にアルカリ電解水と酸による 2 通りの浸漬洗浄における超音波照射の効果について，洗浄力の比較検討を当該高感度反射測定で行った。

* 県央技術支援センター

2. 実　　験

2.1　金属表面の洗浄力評価

被洗浄材は前報と同じく測定面を鏡面研磨した SUS304（50×50×1mm）を用いた。初めに被洗浄材の汚れを取り除く目的で 350℃の加熱処理後（図 1），その測定面に市販の鉱物油系潤滑剤をスプレーで塗布し，ウェスで余分な潤滑剤をふき取り，温風乾燥後，試験片（以下，試験片）とした。2 通りの洗浄方法として，前報と同じアルカリ電解水による洗浄。次に，酸による洗浄方法は硫酸と硝酸の混酸（以下，混酸）をガラス容器にて調製後，80℃の湯浴中に保温し，試験片をこの容器に 180s 浸漬した後，容器ごと湯浴から超音波洗浄器へ移し入れ，30s 超音波を照射した（図 2）。その後，試験片を取り出して水洗とアルカリ電解水での中和処理をし，最後に蒸留水で濯いでから温風乾燥した。

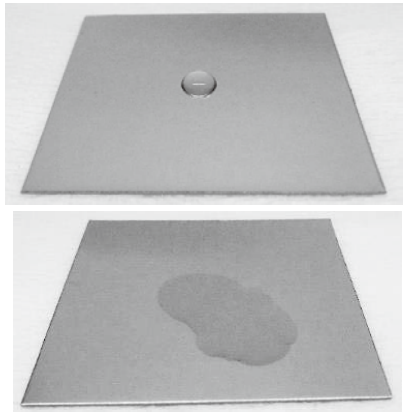


図 1　加熱処理前後の試験片の
蒸留水に対する濡れの様子

（湯浴浸漬）　　（超音波照射）

図 2　混酸による洗浄実験の様子

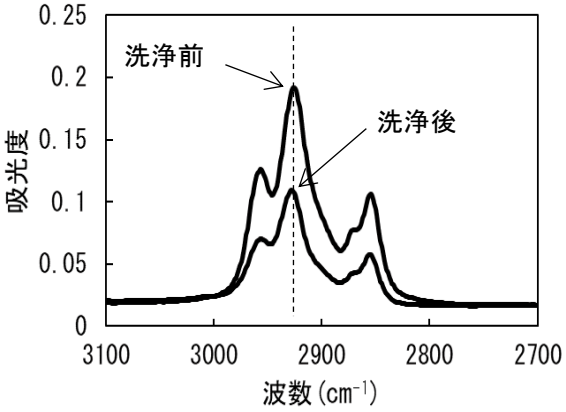


図 3　洗浄前後の赤外スペクトル

洗浄力評価手法は，前報と同様に赤外分光分析の高感度反射測定による測定結果を用いた。

赤外分光分析は，フーリエ変換赤外分光光度計 FT/IR-4X（日本分光(株)製）と高感度反射測定装置 RAS PRO 80X（日本分光(株)製）を用いた。測定は分解能 4cm^{-1}，積算回数 8 回とした。超音波洗浄器は，(株)エスエヌディ製 US-01 及び US-350S を使用した。湯浴は，アズワン(株)製 EW-100R を使用した。蒸留水は，純水製造装置オートスチル WG250（ヤマト科学(株)製）より採水した。

2.2　実験結果

図 3 に蒸留水に浸漬して超音波照射したときの試験片の洗浄前後における赤外スペクトルを示す（炭化水素に起因する吸光度の領域）。洗浄後の表面に炭化水素のピークが確認でき，表面に塗布した潤滑剤の残渣を示している。

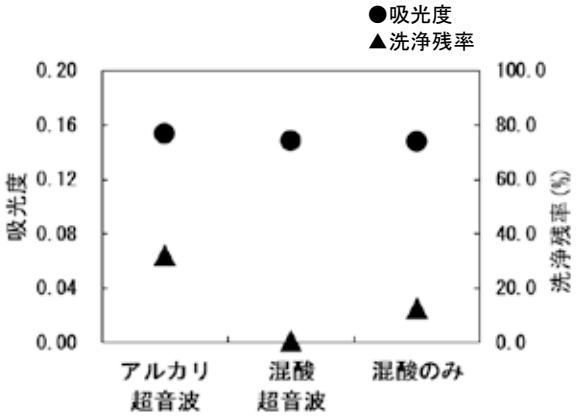


図 4　洗浄前の吸光度および洗浄残率

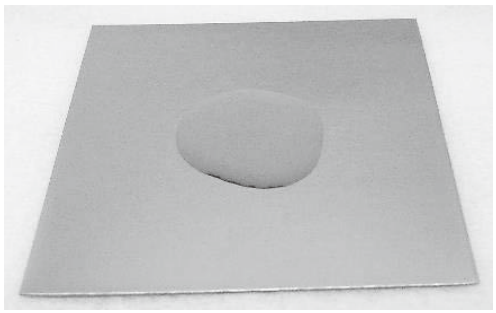


図 5　混酸洗浄（80℃）後の試験片の
蒸留水に対する濡れの様子

前報と同様に試験片の洗浄評価指標として，図 3 中の破線で示した 2920cm^{-1} 付近のピーク強度について，洗浄前後の吸光度比を洗浄残率として式(1)のように定義して算出した。

$$洗浄残率(\%) = \frac{洗浄後の吸光度}{洗浄前の吸光度} \times 100 \quad (1)$$

アルカリ電解水と混酸による洗浄実験前の吸光度と算出した洗浄残率を図 4 に示す。洗浄残率はアルカリ電解水に比べて混酸が著しく低くなり概ね 0 となった。なお，混酸洗浄において超音波照射を行わない場合でも，アルカリ電解水に比べて洗浄残率は低くなるものの，洗浄残率が 10%程度であることから，超音波照射の洗浄への寄与は大きいことが確認された。混酸洗浄（超音波照射あり）後の試験片の蒸留水に対する濡れの様子を図 5 に示す。

本研究における混酸洗浄の特徴は，硫酸による脱脂効果である。ただし，硫酸の単独使用で

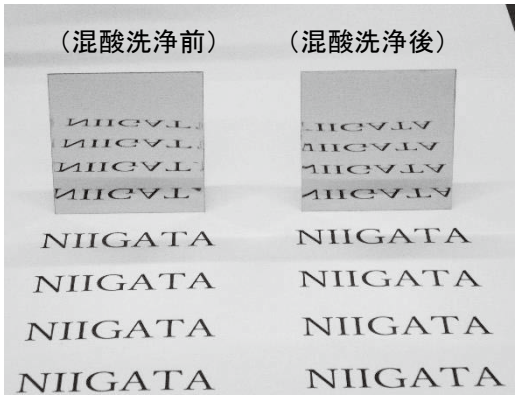
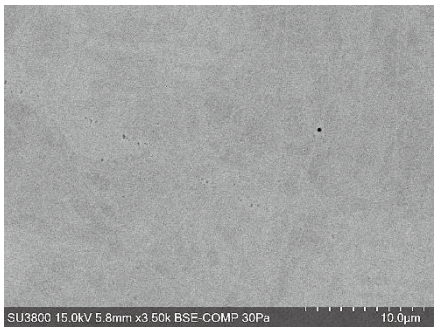
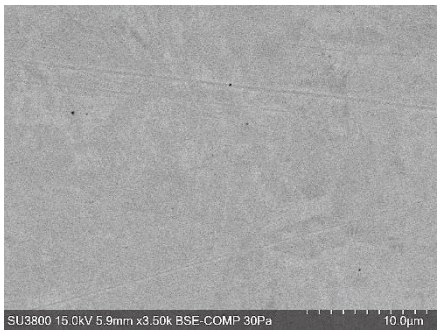


図 6　混酸洗浄前後の試験片の表面



混酸洗浄前



混酸洗浄後

図 7　混酸洗浄前後の試験片表面の
走査型電子顕微鏡像

は SUS304 の表面が脱脂と同時に腐食で肌荒れするため，硝酸による不動態化作用で肌荒れを防止できたものと考えられる。混酸洗浄前後の試験片表面の様子を図 6 に示す。

また，超精密表面粗さ測定装置フォームタリサーフ PGI430（AMETEK(株)製）で測定した結果を表 1 に，走査型電子顕微鏡 SU3800（(株)日立ハイテク製）による表面の観察結果を図 7 に示す。混酸洗浄前後の試験片表面は測定と観察により肌荒れは確認できなかった。

表 1　混酸洗浄前後の試験片の表面粗さ

表面粗さ	Ra(μm)	Rz(μm)
混酸洗浄前	0.008	0.038
混酸洗浄後	0.007	0.042

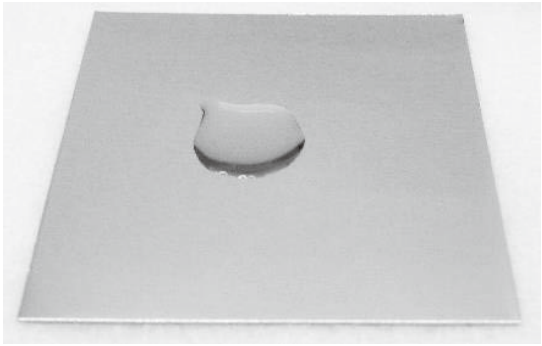


図 8　混酸洗浄（70℃）後の試験片の
蒸留水に対する濡れの様子

次に，混酸洗浄の湯浴の設定温度を 80℃から 70℃に変更して実験したところ（図 8），洗浄残率は 80℃に対して上昇したことから混酸洗浄における湯浴温度は 80℃以上が必要であると思われる。

以上の結果より市販の潤滑剤に対する当該混酸洗浄方法は，SUS304 の洗浄方法として溶剤洗浄の代替方法となり得る可能性を示すことができた。

3.　結　　言

(1) 混酸の洗浄はアルカリ電解水の洗浄よりも洗浄力が高く，超音波照射により効果が著しく向上した。

(2) 混酸洗浄前後における試験片の表面に肌荒れは確認できなかった。

(3) 当該混酸洗浄方法は SUS304 の洗浄方法として溶剤洗浄の代替方法となり得る可能性を示すことができた。

参考文献

1) トリクロロエチレンの排出抑制に向けた自主的取組ガイドライン, https://www.pref.niigata.l

g.jp/site/kankyo/200410torikurogaidorain.html, (閲覧 2024-5-7).
2) 近正道,大川原真, 岡田英樹, “新潟県工業技術研究報告書” , No.52 (2022), pp.32-34.
3) 内藤隆之, 近正道, 大川原真, 皆川森夫, “新潟県工業技術報告書” , No.53 (2023), pp.62-64.