ノート

環境負荷低減に向けた洗浄技術に関する研究

近　正道*　大川原　真*　岡田　英樹*

Cleaning Technology for Environmental Load Reduction

CHIKA Masamichi*, OKAWARA Makoto* and OKADA Hideki*

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に代わる洗浄剤としてアルカリ洗浄剤や炭化水素系洗浄剤，その他ハロゲン系洗浄剤など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，本年度は，金属表面の洗浄力を評価する方法を検討するとともに，洗浄槽内の流れの可視化方法の検討を行った。

2. 実験方法

2.1　金属表面の洗浄力評価

被洗浄材として SUS304（50×50×1mm）を用いた。反射率を高めるために測定面をミラー研磨したものを使用した。被洗浄材の測定面に市販の潤滑剤をスプレーで塗布し，ドライヤーで乾燥後，ウェスでふき取り，試験片とした。

洗浄は，水道水を入れた水槽内に循環式のポンプを設置して，そのノズルから発生する水流を洗浄面に当てることで行った。洗浄時間は 30s とした。

洗浄力評価手法として，赤外分光分析による高感度反射測定と電子顕微鏡による元素分析を行い，その結果を比較した。赤外分光分析における高感度反射測定は，入射面に対して平行な偏光の赤外光を大きな入射角で照射することで，金属上の誘電体薄膜を高感度に検出することができる手法 [2)]であり，金属上のわずかな汚れなどを検出するのに優れた測定方法である。

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。

電子顕微鏡による元素分析は，走査電子顕微鏡 SU3800（（株）日立ハイテク製）とエネルギー分散型 X 線分析装置 UltimMAX40（オックスフォード・インストゥルメンツ（株）製）を使用した。低真空モードで分析を行い，加速電圧 15kV，観察倍率 100 倍で全視野をライブタイム 100s で測定した。

図 1 に洗浄前後の赤外スペクトルを示す（炭化水素に起因する吸収の領域）。また，潤滑剤をスプレーで塗布する前の赤外スペクトルも併せて表示した。スプレー塗布前の表面にも炭化水素のピークが若干確認されるが，潤滑剤を塗布することによって，ピークは大きくなった。また，洗浄後は炭化水素の吸収が低下し，表面に塗布した潤滑剤が減少したことを示している。

* 県央技術支援センター

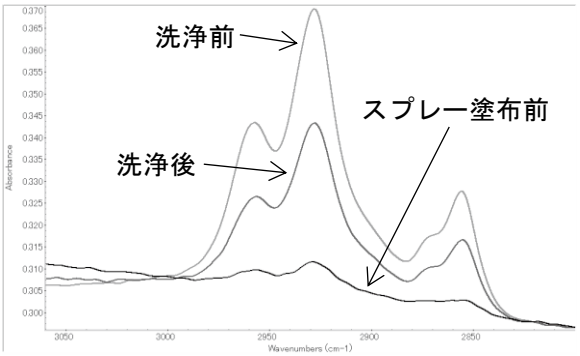

図 1　洗浄前後の赤外スペクトル

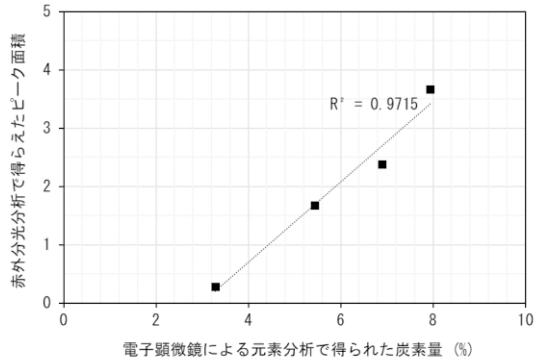

図 2　赤外分光分析と元素分析の比較

赤外分光分析と電子顕微鏡による元素分析の結果を比較したものを図 2 に示す。潤滑剤の塗布量を変えて赤外スペクトルを測定して，図 1 で示した領域のピークの面積を算出し，炭化水素量の指標とした。また，同一試験片を電子顕微鏡で元素分析を行い，得られた炭素の含有量との比較を行った。その結果，両者の間に比較的良好な相関関係が得られたことから，本研究で検討した洗浄評価手法としては，両者ともに適切な手法と思われる。

ここで，赤外分光分析による高感度反射測定は，電子顕微鏡のように真空中ではなく大気中で測定できることに加えて，試験片を測定位置に置くことで簡便に測定できる方法で，付着量にもよるが迅速な測定方法である（本研究では 1 試料当たり 10s 程度で測定している）。しかし，赤外反射率は基板の表面粗さに大きく影響を受けるため，測定に適さない試料もある。

2.2　流れの可視化

流れを可視化する方法として，着目する 2 次元の検査面に上部からレーザーシート光を照射し流動場に投入したトレーサーの軌跡を観察するトレーサー法がある。本稿ではノズル出口の上流部に設置されたベンチュリー部から流動場に気泡を導入し，その気泡をトレーサーとして用いた。デジタルカメラにより撮影した画像を図 3，図 4 に示す。図 3 は露光時間 1/60s，ノズルから洗浄面までの距離を 50mm にて撮影した画像，図 4 は露光時間 1/10s，ノズルから洗浄面までの距離を 50mm，30mm，10mm とした画像である。図 4 右に示すノズルから洗浄面までの距離が 10mm の場合，洗浄面に衝突した流れの影響により明瞭な気泡の軌跡を撮影することが出来なかった。また，気泡の軌跡の長さを用いて洗浄面に衝突する直前の流速を算定した。算定された流速はノズルから洗浄面までの距離が 50mm，30mm において各々0.46m/s，0.49m/s であった。一方，使用したポンプの体積流量を実測し，ノズルの内径を用いてノズル出口の平均流速を計算すると約 1.5m/s となり，これは撮影画像をもとに算定した流速の 3 倍程度であった。この流速の差は本試験でトレーサーとして用いた気泡サイズでは気泡の流動抵抗が大きく，加えて流路に気泡を導入した影響もあることが原因と思われる。

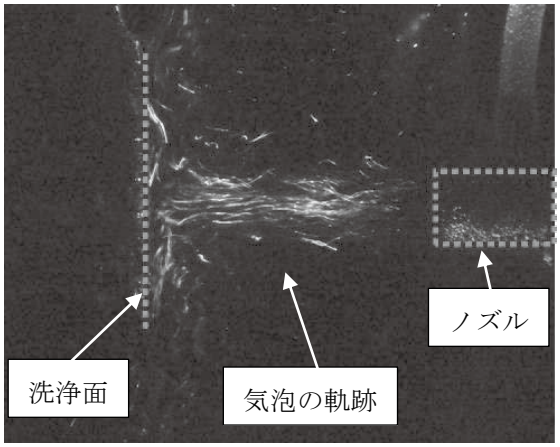

図 3　撮影画像（露光時間：1/60s
ノズル～洗浄面間距離：50㎜）

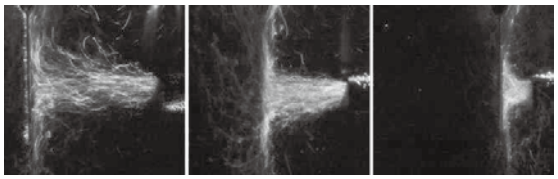

図４　撮影画像（露光時間：1/10s
ノズル～洗浄面間距離：左から 50㎜, 30㎜, 10㎜）

以上から，流動場に導入した気泡をトレーサーとして液体（水）の流速を推定することに課題はあるものの，簡易的に流動場の確認を行うことが出来た。また，気泡の流速を算定することは気泡を含む洗浄環境において，気泡の洗浄に対する効果を検証するためにも非常に重要である。

3. 結　　言

(1) 洗浄力の評価方法として赤外分光分析による高感度反射測定と電子顕微鏡による元素分析を選択し，その結果を比較した。本研究の範囲内では，良好な相関関係が得られ，両者ともに適切な手法と思われる。

(2) 洗浄槽内の流動場を簡単に評価する手法を検討した。気泡をトレーサーとして使用し，槽内の流動場を簡単に確認することができた。一方で流速の算出には課題が残り，正確に流速を把握するためにはトレーサー粒子を見直す必要がある。

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.lg.jp/site/kankyo/200410torikurogaidorain.html, 更新日 2020 年 4 月 10 日, 閲覧日 2023 年 3 月 24 日.

2) 山崎修一，赤外高感度反射スペクトルの理論的考察 I，分光研究，Vol. 43，No. 6(1994)pp.362-369.