

環境負荷低減に向けた洗浄技術に関する研究

内藤 隆之* 大川原 真* 皆川 森夫* 橋詰 史則*
林 成実** 天城 裕子** 渡邊 亮**

Cleaning Technique for Environmental Load Reduction

NAITO Takayuki*, OKAWARA Makoto*, MINAGAWA Morio*, HASHIZUME Fuminori*
HAYASHI Narumi**, AMAKI Yuuko** and WATANABE Ryo**

抄 録

SUS304, SUS430, SUS420J2の各ステンレス鋼について、環境負荷低減を目的にトリクロロエチレン洗浄の代替方法を検討して、硫酸と硝酸の混酸液への浸漬と超音波照射併用による洗浄を検討した。この結果、切削油等の汚れに対しては液温が室温の状態で60秒以内に、絞り加工やバフ研磨による油等の汚れの場合は80℃以下の加温で60秒以内に、ステンレス鋼を肌荒れせずに洗浄できることを確認した。今後、溶剤洗浄の代替方法となり得る可能性を示した。

1. 緒 言

塩素系洗浄剤であるトリクロロエチレンは金属製品製造工程の脱脂洗浄で多用されてきたものの発癌性物質との指摘を受け、人・環境への影響を考慮して、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²⁾、その使用に当たり大気への放出を抑制する対策に取り組んでいる。

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等が検討されているものの、現状では生産性や安全性（難燃性であること）を考慮すると、特に研磨剤除去の目的としてはトリクロロエチレン以上に有用な洗浄剤が見つからない状況にある。

また、トリクロロエチレン同様に多用されてきたフッ素系洗浄剤は第一世代が1995年末に生産全廃、第二世代と第三世代は規制され、第四世代が上市されている状況であるが、いずれ規制対象となる可能性が高い。

本研究ではトリクロロエチレンの代替方法として、これまでに SUS304 の酸洗浄方法を検討

した結果、硫酸と硝酸の混酸による浸漬洗浄に超音波照射を併用することで洗浄効果の著しい向上を確認した³⁾。今年度は鋼種を増やすと共に実際の工程で付着する汚れを想定して、機械加工油とバフ研磨品を対象とした洗浄方法について、その効果を検証した。

2. 実 験

2.1 金属表面の洗浄力評価

被洗浄材は測定面が鏡面研磨された SUS304 と SUS430 (50x50x1mm) 及び三徳包丁（刃渡り

(加熱処理前)



(加熱処理後)

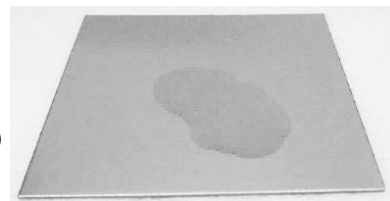


図1 加熱処理前後の SUS304 試験片の
蒸留水に対する濡れの様子

* 県央技術支援センター

** 技術統括センター



中和 ← 水洗 ← 混合酸洗浄
(アルカリ電解水) (水道水) (超音波照射)
図2 混合酸による洗浄実験の様子

17cm：SUS420J2 製）を用いた。三徳包丁は予め刃先を丸めてから 17cm の刀身を幅 4cm 程度に分割して被洗浄材とした。なお，表面は鏡面研磨せずに使用した。本実験では初めに被洗浄材の除染目的で 350℃の加熱処理をした（図1）。その測定面に模擬汚染物として市販の切削油（ホーザン(株)製 Z-217）と極圧潤滑剤（化研産業(株)製 NASKALUB）を個別に塗布し，ウェスで余分な油や潤滑剤を拭き取り，温風乾燥後，試験片（以下，試験片）とした。この 2 種類の模擬汚染物への洗浄方法は，硫酸と硝酸の混酸（以下，混酸）を室温にてガラス容器中で調製後，試験片をこの混酸に浸漬直後に容器ごと超音波洗浄器へ移し入れ，超音波を 30 秒間照射した後，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（図 2），最後に蒸留水で濯ぎ温風乾燥した。超音波洗浄器は，（株）エスエヌディ製 US-01 を使用した。蒸留水は，ヤマト科学(株)製純水製造装置オートスチル WG250 より採取した。

2.2 混酸に対する試験片表面の耐食性評価

混酸に対する各試験片の耐食性試験を表 1 の条件で行った。試験前後における試験片表面の評価方法は，オリンパス(株)製 3D 測定レーザー顕微鏡 OLS4100-SAT を使用して，表面観察と表面粗さ（Ra と Rz）の計測を行った。

表 1 各試験片の耐食性試験条件

試験条件	1	2
超音波	あり	なし
浸漬時間	3 分間	96 時間

2.3 実験結果

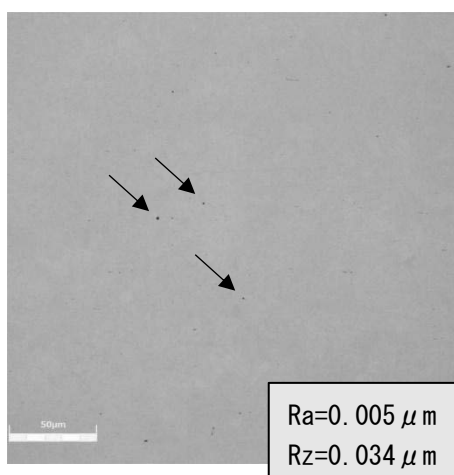
2 種類の模擬汚染物（切削油と極圧潤滑剤）に対する各試験片での混酸洗浄結果は良好であり，模擬汚染物を塗布する前の状態（図 1 の加熱処理後）と同様な濡れの様子を示した。

次に，混酸に対する各試験片の耐食試験結果を図 3 から図 5 に示す。

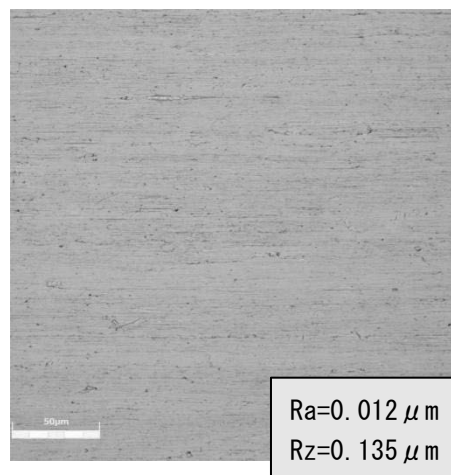
SUS304 について，超音波あり 3 分間浸漬の試験では試験前後の表面の様子と表面粗さは同程度であった。一方，超音波なし 96 時間浸漬の試験では，試験前の表面観察で確認できた凹み（矢印）の数が試験後の表面では増えており，若干 Rz の値が大きくなった（ $0.034\mu\text{m} \rightarrow 0.050\mu\text{m}$ ）ものの，目視では肌荒れは確認できなかった（図 3）。

SUS430 については，SUS304 と異なり，試験前の時点で研磨痕による横縞模様が見られた。超音波あり 3 分間浸漬の試験では試験後の表面粗さ（Ra, Rz）の値が大きくなった（Ra： $0.012\mu\text{m} \rightarrow 0.026\mu\text{m}$ ，Rz： $0.135\mu\text{m} \rightarrow 0.167\mu\text{m}$ ）ものの，表面の横縞模様の濃淡は同程度のように見えており，目視では肌荒れは確認できなかった。一方，超音波なし 96 時間浸漬の試験では，表面の横縞模様の濃淡が試験後に濃く見えたものの，目視では肌荒れは確認できなかった。この横縞模様の濃淡の変化は Rz の値が大きくなったこと（ $0.135\mu\text{m} \rightarrow 0.205\mu\text{m}$ ）から，試験前の研磨痕（横縞模様）による凹み部分が深く成長したものと考えられる（図 4）。

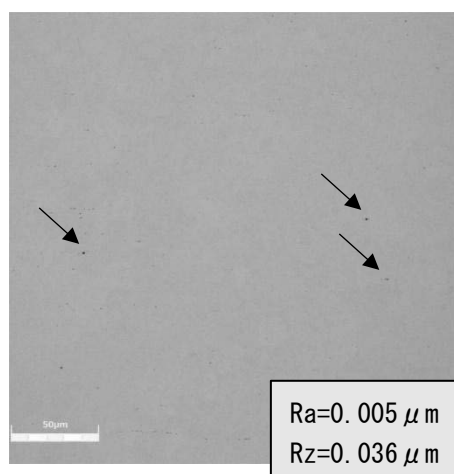
SUS420J2 については，試験前の時点でヘアライン仕上げされた表面であり，研磨痕の凹凸による表面粗さ（Ra, Rz）の値が SUS304 と SUS430 と比較して一桁大きい。超音波あり 3 分間浸漬の試験では試験後の Rz の値が大きくなっ



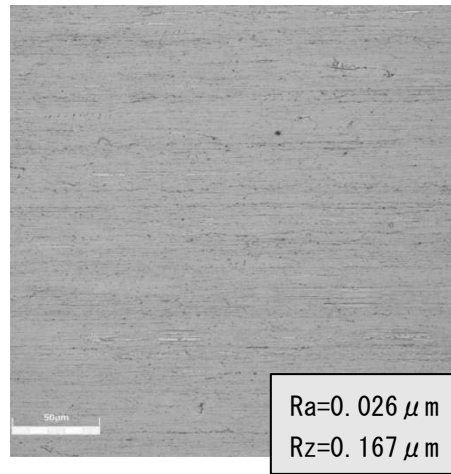
(a) 試験前



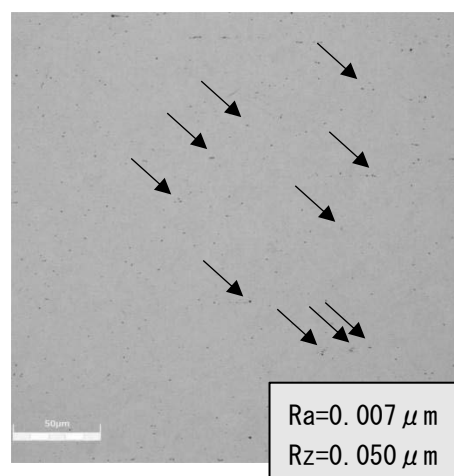
(a) 試験前



(b) 超音波あり 3 分間浸漬

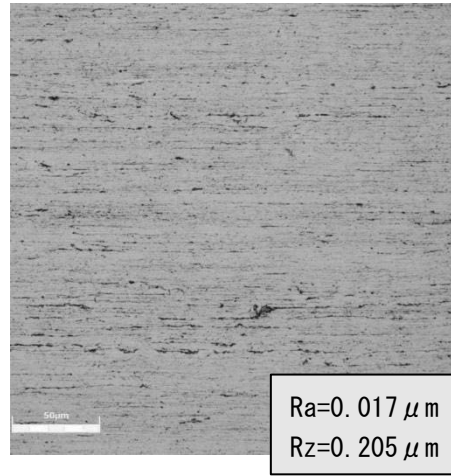


(b) 超音波あり 3 分間浸漬



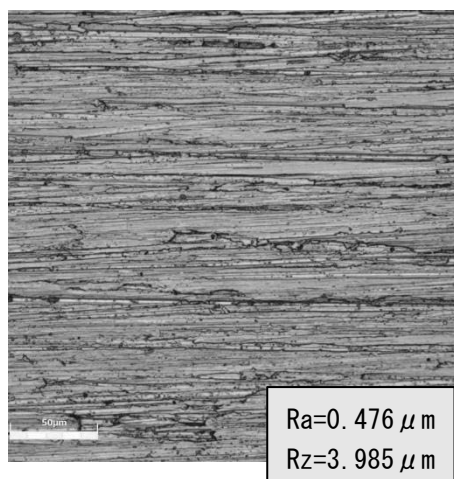
(c) 超音波なし 96 時間浸漬

図 3 SUS304 の耐食試験結果

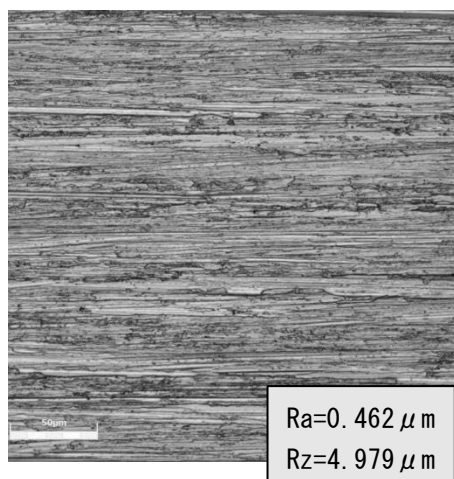


(c) 超音波なし 96 時間浸漬

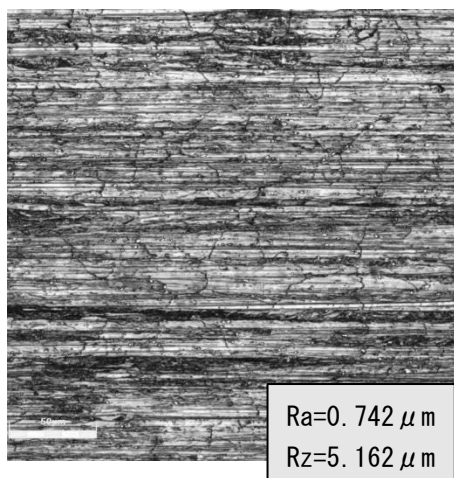
図 4 SUS430 の耐食試験結果



(a) 試験前



(b) 超音波あり 3 分間浸漬



(c) 超音波なし 96 時間浸漬

図 5 SUS420J2 の耐食試験結果

た ($3.985\mu\text{m} \rightarrow 4.979\mu\text{m}$) もの、表面の研磨痕による凹凸は同程度のように見えており、目視では肌荒れは確認できなかった。一方、超音波なし 96 時間浸漬の試験では、混酸が青緑色に着色しており、試験片表面が溶解していることがわかった。表面の様子はヘアラインの研磨痕が残るものの、結晶粒界が表出する程度に表面が浸食されており、試験後の表面粗さ (R_a , R_z) の値が大きくなったこと ($R_a : 0.476\mu\text{m} \rightarrow 0.742\mu\text{m}$, $R_z : 3.985\mu\text{m} \rightarrow 5.162\mu\text{m}$) も併せて確認した。また、目視では試験前後で光沢面が少し曇る程度の肌荒れが確認された。

以上のことから、超音波あり 3 分間の室温混酸浸漬による洗浄方法では SUS304, SUS430 および SUS420J2 に対し、目視で肌を荒らすことなく洗浄できることを示せた。また、長時間の浸漬という厳しい条件下であっても、SUS304 および SUS430 については目視で肌荒れは無いことを確認できた。

2.4 実製品の洗浄実験

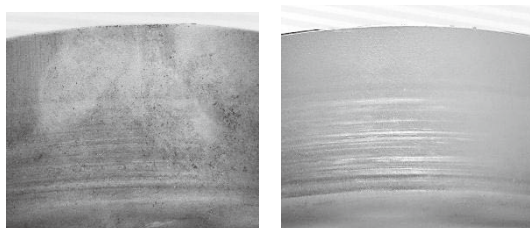
(株)セキヤ (新潟県燕市) より SUS304 製の絞り加工品及び同加工品にバフ研磨 (研磨剤 : 白棒) した洗浄実験試料 (以下、被洗浄品) を提供していただいた。洗浄実験の一例を図 6 と図 7 に示す。結果は被洗浄品の表面に固着した加工油や研磨粉 (矢印) が綺麗に除去でき、また目視でも肌荒れ無く良好な結果が得られた。

2.5 研究結果の特許出願

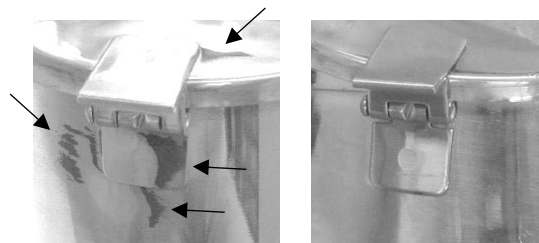
本研究結果を踏まえ、「ステンレス鋼の酸洗浄方法」として特許出願 (特願 2026-43120) を行った。

3. 結 言

(1) 本研究で用いた混酸による洗浄方法では、切削油と極圧潤滑剤に対して、洗浄液が室温でも十分な洗浄効果を得ることができた。また、洗浄液を昇温することで、絞り加工品やバフ研磨品等の実製品の洗浄にも有効



(洗浄前) (洗浄後)
図6 洗浄前後の絞り加工品
(80℃浸漬・超音波 60 秒)



(洗浄前) (洗浄後)
図7 洗浄前後の白棒研磨品
(60℃浸漬・超音波 60 秒)

であった。

- (2) 超音波を併用した室温での3分間の浸漬試験により，本研究で用いた混酸による各種ステンレス鋼の耐食性を評価した結果，目視で試験片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，ステンレス鋼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した。
- (4) 「ステンレス鋼の酸洗浄方法」として特許出願を行った。

謝 辞

本研究にあたり，絞り加工やバフ研磨した洗

浄実験試料を提供いただいた(株)セキヤ，特許出願を支援いただいた弁理士法人牛木国際特許事務所に感謝の意を表します。

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>, (閲覧 2024-5-7).
- 2) トリクロロエチレン取扱セミナー, (2025-12-11 燕市主催).
- 3) 内藤隆之, 大川原真, 皆川森夫, “新潟県工業技術研究報告書”, No.54, 令和6年度, pp.47-50.