

## 電気防錆加工法の応用研究 -加工水からの混入物質の除去検討-

西川尚宏<sup>\*1</sup>, 佐藤佳則<sup>\*1</sup>, 工藤圭太<sup>\*1</sup>, 村瀬貴俊<sup>\*1</sup>, 萩原義裕<sup>\*1</sup>, 吉原信人<sup>\*1</sup>,  
加藤大雅<sup>\*1</sup>, 大川井宏明<sup>\*1</sup>, 刈田清貴<sup>\*1</sup>, 井山俊郎<sup>\*1</sup>, 水野雅裕<sup>\*1</sup>, 塚本真也<sup>\*2</sup>

Application of electric rust preventive machining method  
- Removal of contaminants from machining water -

Naohiro NISHIKAWA, Yoshinori SATO, Keita KUDOU, Takatoshi MURASE, Yoshihiro HAGIHARA, Nobuhito YOSHIHARA,  
Hiromasa KATO, Hiroaki OKAWAI, Kiyotaka KARITA, Toshiro IYAMA, Masahiro MIZUNO and Shinya TSUKAMOTO

これまで加工液に水のみを使用する電気防錆加工法システムを開発してきた。本システム内の水循環再生システムは水から極微細な粒子やイオンの除去が可能であり、各種用水(水溶性切削油剤用水, 洗浄水など)として用いられる水に混入した他のさまざまな混入物質の除去も可能と考えられる。本研究ではこれを応用し、汚染物質と見立てたセシウム  $^{133}\text{Cs}$  (1mg/L) が混入した水の浄化を検討した。その結果, 99.6%以上のセシウム除去が示され, また, 10.5L/min で連続的に浄化された再生水精製を達成した。さらに, 逆浸透膜の濃縮水側において特異な付着物による吸着のためと考えられる 96.43%の除去率が示された。

Key words : electric rust preventive machining method, water machining, effluent treatment, machining fluid, water recycle, reverse osmosis membrane, radioactive material, cesium, removal, environmental harmonic machining

### 1. 緒言

これまで, 機械加工に加工液として水のみを使用する電気防錆加工法システム<sup>1)~9)</sup>の開発を行ってきた。本システムの主な目的は機械加工において環境負荷を大幅に低減し, 環境と作業者に優しい機械加工を実現することである。従来, 加工性能を上げるため<sup>10)</sup>油剤, 極圧添加剤(リン系・硫黄系), 界面活性剤, 防錆剤など各種薬剤を含んだ加工液が使用されており, 廃液処理時<sup>11)12)</sup>に焼却や凝集沈殿など処理を行うため, 莫大な処理コストと温室効果ガスを発生して環境負荷を与えるのみならず, 加工時に飛散する液ミストにより, 現場作業員に対して, 皮膚炎や呼吸器への影響といった健康への懸念があった。これらはいずれも無害な水を加工液に代替する加工を実現できれば大幅に低減すると考えられる。

ここにおいて, 最近, 新たな問題が生じている。本研究のシステムはこの解決に応用可能であると考えられる。昨今, 工業製品の返品・引き取り拒否など問題が取りざたされている。これは製品表面に汚染物質が付着していると思われての風評被害や実際の付着に起因すると思われる。この汚染物質の製品への付着要因は図1で示すように各段階において生じていると考えられる。まず, 各種有害物質として, その土地に含まれる<sup>13)</sup>(たとえば土壌由来や鉱石採掘によるもの, 地下

からの噴出によるものなど) 自然由来のものがある。あるいは, 公害や事故などにより生じて漏洩した人工的な物質も考えられる。これらが存在する地域においては, 大気中への放出物が降下して, あるいは流出物が直接水源に混入し, この物質が浄水場で濾過できない場合が想定される。その際, 加工液(とくに水溶性切削油剤など)に使用する用水(工業用水・地下水・水道水)に混入物質が残留すると考えられる。もしくは, 大気を通じて工場内の用水池や加工液槽などに汚染物質が降下すると, 汚染された加工液になることが懸念される。これを用いて加工を施すと工作物表面へのそれら汚染物の凝着・残留が懸念される。また, 加工後において, 洗浄に用いる水にも前述のような混入があれば, 再汚染による除染不良が考えられる。医療・食・衛生に関わる部品やわずかな汚染物による影響も検知して測定に影響するような超高精度測定器等用途の部品などにおいては特に影響が懸念されるものと考えられる。また, 心理的問題として除染の証明がないと忌避される恐れがある。物質の種類によっては混入を防ぐ・除去が困難で, また, 汚染が突発的なことに関しては, それまで事例が少なく一般的でなかったため検知手段が難しくすぐには設備導入困難ということも想定される。ここでもし, 加工・洗浄に要される水から混入したと懸念される汚染物質が除去できれば, 工作物や製品への汚染物質の付着を加工・洗浄の段階で予防阻止でき, またそのような手段があると, 製品顧客に心理的安心感を与えることができると考えられる。

ここにおいて, 本電気防錆加工法システム(水循環再生システム)の応用として, 汚染が懸念されている加工液原水(水

\*1 岩手大学工学部: 〒020-8550 岩手県盛岡市上田三丁目18番8号  
Faculty of Engineering, Iwate University

\*2 岡山大学工学部: 〒700-8530 岡山県岡山市津島中3-1-1  
Faculty of Engineering, Okayama University

(学会受付日: 2011年7月11日)

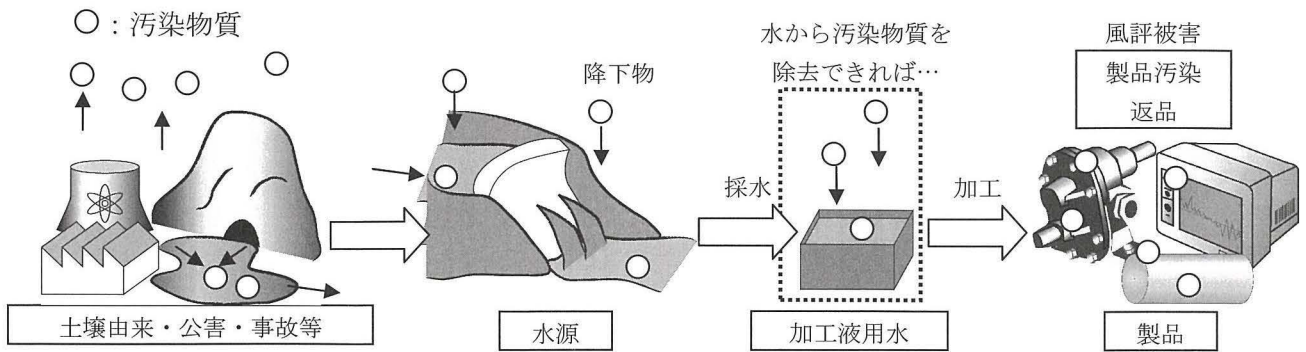


図1 汚染物質の付着の例

溶性切削油剤用や薬剤不使用の加工水)ならびに洗浄水の除染への適用を提案・検討した。これらの水からの除去対象となる汚染物質の例としては精密装置や人体に有害とされる金属・非金属ならびに放射性物質などの微粒子やそのイオンを想定する。本システムでは原理上、多種多様な汚染物質に対して除去可能性があるが、汚染物質として、金属・放射性物質のセシウム 137 (<sup>137</sup>Cs)にみても、ほぼ同様の化学特性の非放射性的安定同位体セシウム 133 (<sup>133</sup>Cs)を混入した水の浄化性能に対し基礎的な検証を試みた。

これまで、セシウム除去において、ゼオライトやイオン交換樹脂など吸着剤等使用する例<sup>14)</sup>が知られている。また、特定の事例においては逆浸透膜の有効性が示されている<sup>15)</sup>。しかし、本研究の目的としては主に浄化された加工液用水等の連続したインプロセス精製であり、これまでの事例とは用途が若干異なっており、このような試みはなされていなかった。

2. 電気防錆加工システム

図2に本実験で応用する電気防錆加工システムを示す。本加工法は工作物を陰極として微弱電流を供給する電気防錆<sup>16)</sup>を適用することで、水中で工作物の錆を防止しながら加工を可能とする手法である。加工機筐体<sup>67)</sup>は樹脂・ステンレス材等で構成され、また加工機自体にも電気防錆を適用し錆を防いでいる。この加工機で使用された水は水循環再生システム<sup>8)9)</sup>により再生され再度加工に使用される。セパレータで大まかに鉄切りくずを除去し沈殿槽で沈積および切りくず防錆を行う。その後、

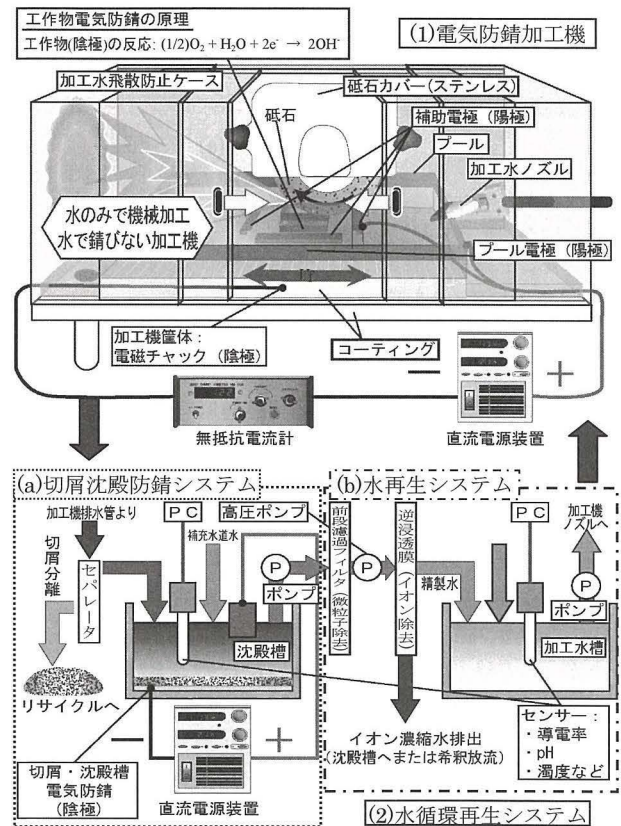


図2 電気防錆加工システム

表1 水循環システム構成機器

構成機材	型番(メーカ)	材質	性能, 寸法等
マグネットセパレータ	MS2-4-U(株)リタケカンパニーリミテド)	SUS304	処理量:40L/min, 除去率:70%以上(平均粒径 10μm)・85%以上(平均粒径 30μm), スラッジ含水率:10%以下
水槽(沈殿槽)		アクリル	内寸 w588×d438×h445mm, 水深 h355mm, 容量: 91.4L(h355mm)
濾過フィルタ	PP フィルタ(株)環境テクノス)	PP(ポリプロピレン)	使用温度(-10~65°C), 濾過精度(5μm), 使用本数・3本(並列)
活性炭フィルタ	FDB2 活性炭フィルタ(株)環境テクノス)	繊維状活性炭	最大通水量(4kg/cm <sup>2</sup> ):20~30 L/min, 使用本数・3本(並列)
逆浸透膜	超低圧合成複合膜エレメント SUL-G10(東レ(株))	架橋全芳香族ポリアミド系複合膜(スパイラル型)	イオン除去率:99.5~99.0%(条件:0.75MPa, 25°C, 給水流量 20L/min, pH6.5, 500mg/L as NaCl), 使用本数・2本(直列)
井戸ポンプ	PAP-1511A(株)三相電機)	銅合金・ステンレス・エンジニアリングプラスチック	電力:150W, 定格電圧:100V/50Hz, 給水量:25L/min(全揚程:12m), 吸上揚程:8m, 押上揚程:8m
高圧ポンプ	A2507KB ベーンポンプ(DER FENG ELEC.& MACH.CO.LTD)	真鍮	電力:750W/50Hz, 定格電圧:100V/50Hz, 吐出圧:10~12kg/cm <sup>2</sup> , 吐出流量:25~26L/min

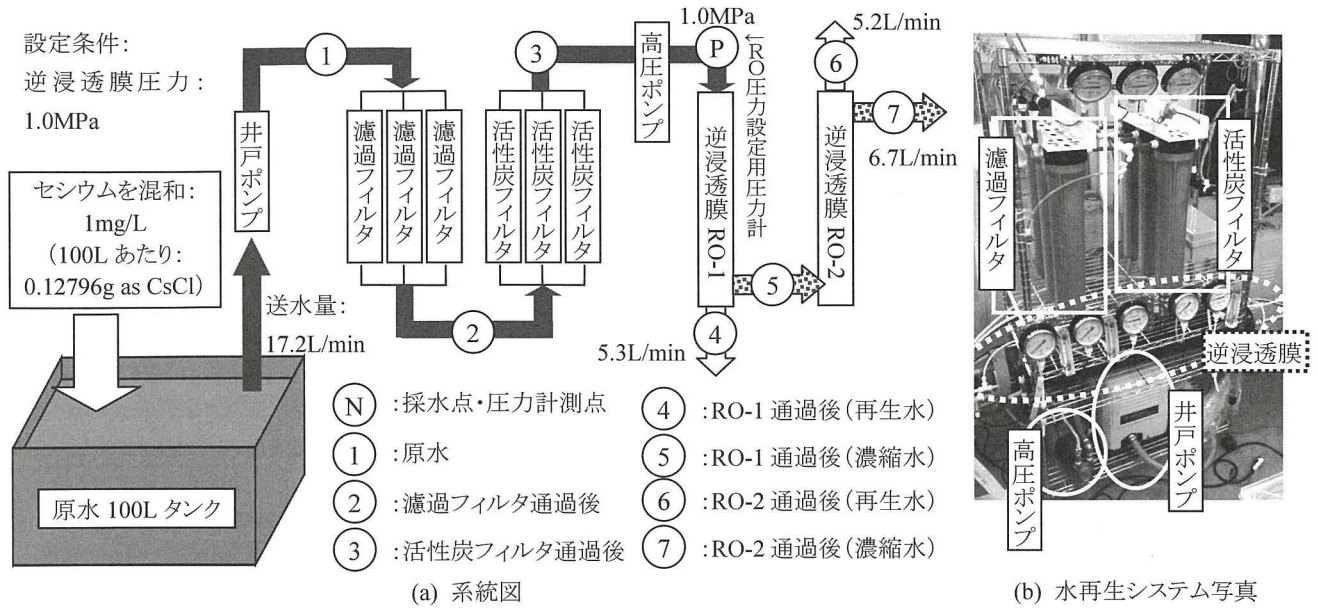


図3 水再生循環システム

ポンプにより濾過フィルタを経て逆浸透膜を通過し、浄化された再生水と不純物が濃縮された濃縮水が排出される。表1に水循環再生システムを構成する主な機材を示す。

3. 水からの汚染物質除去検証

3.1 水循環再生システムによる実験装置・条件

本研究では電気防錆加工の水循環再生システムを応用し、これまで想定していた鉄イオンや微小砥粒・切りくず以外で、水に含まれた混入成分の除去を試みる。図3に本実験で使用する水循環再生システムの系統ならびに採水点・圧力計測点を示す。水循環再生システムでは切りくず沈殿防錆システムにより鉄浮遊物の磁気による簡易分離と沈殿・防錆処理を行っていたが、本実験で使用する混入物は磁性や腐食は生じない。そこで、マグネットセパレータを経ず、また沈殿槽も電極を有しない別タンクを使用し、このタンクに作成した汚染水を満たし、ポンプにより水再生システムに送水して汚染物質除去を試みる。供給水は水再生システムにおいて十分な流量を通過させるため各3本並列に接続された濾過フィルタ・活性炭フィルタを経て、高圧ポンプにより逆浸透膜(RO)へ送られ、膜を透過し浄化された再生水と不純物が濃縮された濃縮水に分離される。なお、逆浸透膜は2本直列に接続されており、前段のRO-1で濃縮された汚染水が後段のRO-2におくられるため、後段は浄化のための負荷が大きくなっている。また、各排水はタンクに

戻さず希釈し放流している。本システムの各採水点より水を取り出して各部位の水質を測定し検証を行った。測定した水の評価項目はpH、濁度、色度、DO、全鉄濃度、セシウム濃度である。表2に各項目測定に使用した測定器を示す。

また、混入物質として使用するセシウム濃度については外部機関(株式会社 大東環境科学)において分析をおこなった。セシウム分析には下記機器が使用された。

\* 誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS): 7500cx (アジレント・テクノロジー(株)), 設定下限濃度: 0.001mg/L

なお、汚染水は水道水(盛岡市)に塩化セシウムを混和し作成した。タンクの水約100L程度に対して、セシウムとして1ppm(1mg/L, 100Lあたり塩化セシウムとして0.12796g)になるよう、計量して混入した。本計量には下記の機材を使用した。

\* 分析用電子天秤: GR-202 (株式会社 エーアンドー・デイ), 最小表示: 0.1mg (max210g) / 0.01mg (max42g)

実際の汚染物質は放射性<sup>137</sup>Csを想定しているが、今回は非放射性<sup>133</sup>Csによって除去性能の検証をしている。汚染の目安となる測定量として、放射性<sup>137</sup>Csの場合、放射エネルギーがあり、放射

表2 水質測定機器

分析器	型番(メーカー)	測定項目(測定方式)
水質測定器	多項目水質計 WQC-24 型 (東亜ディーケーケー(株))	pH(ガラス電極法), 溶存酸素(DO)(ガルバニ式隔膜電極法), 電気伝導率(交流4電極方式), 温度(白金薄膜抵抗体), 濁度(90度散乱光測定方式(赤外線))
pH 測定器	pH600 型, Milwaukee Instruments, Inc.	pH
電気伝導度測定器	COM-100 型, HM Digital, Inc.	電気伝導度
全鉄測定器	鉄イオンメーターMi408型(ミルウォーキー・ジャパン(株))	鉄イオン濃度(フェナントリン吸光度法)
濁度・色度計	プローブ型濁度・色度センサーTCR-5z 型(笠原理化学工業(株))	濁度(吸光度法) 色度(吸光度法)

性単位[1Ci]あたりの質量 $m$ [g]は次式(1)の様に計算される<sup>17)</sup>。

$$m \text{ [g/Ci]} = 3.19 \times 10^{-10} \times M \times T \quad (1)$$

1Ci:ラジウム1gの壊変毎秒[Bq], 1Ci=3.7×10<sup>10</sup>Bq  
 1Bq: 1secあたり1個の原子崩壊による放射能の量  
 M: 原子量, T: 半減期[hour]

これにより、1Ci当たりの質量を求めてBq量に換算し、これを当該質量に比例換算すると、実験で使用濃度の1mg/LのCs(M=137, T=30.17year=264289.2hour)では3.2GBq相当(=3.2×10<sup>9</sup>Bq=0.08Ci)となり、かなり高濃度となる。しかしながら、逆に1000Bq程度(0.3ng程度)の想定量であると測定に使用した質量分析機(ICP-MS)の下限調整が困難になり、また、投入するセシウムの計量も誤差が大きくなるとともに、混和不良や外乱の影響も大きくなると考えられる。そこで、都合上、除去性能の確認実験ということで扱いやすい量であるmgオーダーで実験を実施した。なお、非放射性的の塩化セシウムは取扱が簡便で水への可溶性が高く、従来、放射性セシウムの代用<sup>18)</sup>として実験に用いられているため踏襲し使用している。

また、タンクから水再生システムへ送水の際は、逆浸透膜RO-1への供給圧力が1.0MPaになるよう調整している。

### 3.2 汚染水と水道水の水質評価

表3に各測定箇所における水質の状態を示す。汚染水の評価実験をするに当たり、まず水道水との比較を行った。なお、水道水は原水(濾過フィルタ入口前)を採取し、セシウム量を計測し、混入が測定下限以下であることを確認したので、他各部位においては測定を割愛した。セシウム以外の項目(pH, 電気伝導度, 濁度, 色度, DO, 全鉄量)を比較すると、水道水と汚染水はとりたてて変化がなく、セシウムが各項目に特段影響を与えることが無いことが示された。また、全体を通じて水温は約20℃付近で一定で、DOはほぼ変化がない。

また、各部位の主な傾向として、もとの水が浄水であるため濾過フィルタや活性炭フィルタに通過後の水は電気伝導度・

濁度・色度・DO・全鉄量に変化がない。逆浸透膜を通過後は、④、⑥の各再生水において電気伝導度が大幅に低減していることが示されている。これは水中のイオン性不純物や導電性不純物が除去されていることが現れている。また、濁度・色度・DO・全鉄量は原水から特別変化は見られない。一方、⑤、⑦の濃縮水では①の原水より電気伝導度が1.5倍～2.5倍に増加しており、再生水側で除去された不純物が濃縮していることが現れている。さらに、RO-2は濃縮水がRO-1よりさらに濃縮され不純物がより多くなっていることが分かる。水の汚れ具合を示す濁度・色度・全鉄量はもとの水が浄水であるため濃縮による変化は特段見られない。

### 3.3 セシウム除去検証

セシウムの各部位での除去量を図4に示す。また、図5にセシウムの累積除去量と各部位での部分除去率を示す。残量は各部位を通過した水に含まれるセシウム量である。除去量は前段部位と現段フィルタ通過後のセシウム残量の差でそのフィルタ部位のみにおけるセシウム除去量である。また、部分除去率はその段のフィルタの除去量を前段のセシウム残量で除して%で表した値で、そのフィルタ部位のみにおけるセシウム除去率でありセシウム除去の効率を示す。さらに、累積除去量は原水セシウム量とその段のフィルタの除去量の差を原水セシウム量で除して%で表した値であり、その段までの系統全体のセシウム除去率を示している。

①原水においては計量して混和した1mgが計測されている。②濾過フィルタにおいては除去率6.1%(除去量0.061mg/L)と僅かに除去されている。これは濾材への付着や濾材付着物への吸着によると考えられる。また、③活性炭フィルタでは18%(0.169mg/L)除去されており、活性炭への吸着除去の効果が示された。しかしながら、供給水を全透過する構造上、濾材や活性炭はいずれ目づまりを起こして交換が余儀なくされるので連続で長期運転する際はフィルタ交換が問題となると考えられる。また、除去率自体がそれほど高くないため、100%に近い除去率を得るためには多量に必要となる。次に、逆浸透膜1段目のRO-1を通過後の浄化された④再生水(透

表3 各測定箇所における水質の状態

測定箇所		pH	電気伝導度 [μS/cm]	濁度 [NTU]	色度 [unit]	DO [mg/L]	水温[°C]	全鉄量 [mg/L]
①原水 (濾過フィルタ入口)	汚染水	8.0	108	0.00	0.00	5.38	19.7	0.05
	水道水	8.0	107	0.00	0.03	5.47	19.8	0.05
②濾過フィルタ通過後 (活性炭フィルタ入口)	汚染水	8.1	106	2.50	0.00	5.79	19.6	0.07
	水道水	8.0	107	0.00	1.60	5.51	19.7	0.05
③活性炭フィルタ通過後 (活性炭フィルタ出口)	汚染水	8.1	108	0.00	0.00	5.63	20.0	0.03
	水道水	7.6	105	0.00	0.00	5.43	19.8	0.03
④逆浸透膜通過後 再生水(RO-1)	汚染水	7.0	2.0	0.00	0.00	5.46	20.3	0.01
	水道水	7.2	2.9	0.00	0.00	5.43	19.8	0.03
⑤逆浸透膜通過後 濃縮水(RO-1)	汚染水	7.7	155	1.30	0.00	5.55	20.5	0.02
	水道水	7.9	151	0.80	0.00	5.45	19.8	0.03
⑥逆浸透膜通過後 再生水(RO-2)	汚染水	7.3	2.4	0.00	0.00	5.55	20.2	0.02
	水道水	7.5	2.9	0.00	0.00	5.45	19.6	0.02
⑦逆浸透膜通過後 濃縮水(RO-2)	汚染水	8.1	269	0.90	0.00	5.60	20.5	0.04
	水道水	8.0	250	0.00	0.00	5.55	19.7	0.03

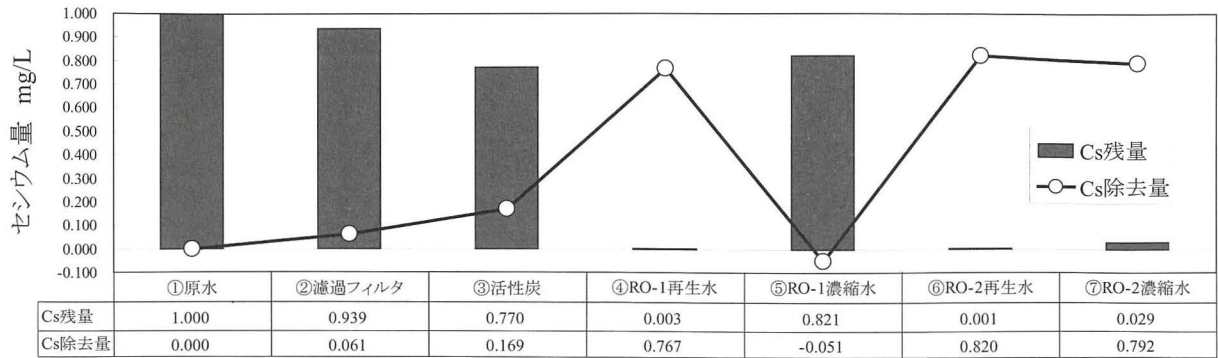


図4 各部位におけるセシウム残量と除去量

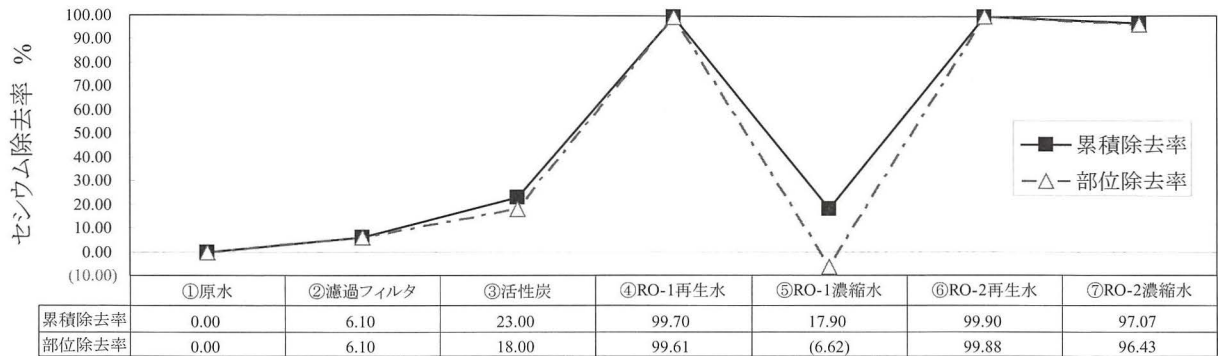


図5 セシウムの累積除去率と部分除去率

過水)においては99.61%(0.767mg/L)除去されており、極めて高い除去効果を発揮している。しかしながら、同RO-1の⑤濃縮水においては前段の活性炭のセシウム残量よりも増え、除去率は-6.62%(-0.051mg/L)と負になり増加していることが示された。これは上述のように、逆浸透膜の構造上、膜を透過されなかった水(濃縮水)に不純物が濃縮されるためであり、先の電気伝導度の傾向と同じである。しかしながら、逆浸透膜自体への目づまりは起こりにくく、長期に使用するにおいても有用であると言える。これにより、極めて高い除去率とメンテナンス性から有効性が確認された。さらに、濾過フィルタと活性炭フィルタをあわせた累積除去率は99.7%とさらに向上する。なお、逆浸透膜単体には5 $\mu$ m以上の微粒子が供給されても膜に傷がつかないように、保護のために濾過フィルタが必要であるので、メンテナンスフリーにはまだ工夫が必要である。

また、同様により濃縮されたRO-1の⑤濃縮水が供給され浄化への負荷のかかる後段⑥RO-2再生水の除去率は99.88%(0.820mg/L)であった。また、累積除去率は99.90%であった。一方、当初、その濃縮水は高濃度に濃縮されるものと予想していたが、特異な結果が得られた。⑦RO-2濃縮水の除去率は96.43%(0.792mg/L)と予想に反して著しい除去率を示した。この原因として、本実験の前まで多種の水で実験を行っており、濃縮負荷のかかる逆浸透膜RO-2の表面に付着物の凝着を僅かながら起こしており、この付着物による吸着の影響が考えられる。図6にRO-2表面に生じた付着物を示す。この付着物は僅かな量であると考えられるがセシウムをかなり除去しているのが上述のように示されている。また、電気伝導度においては濃縮が起こっているため、セシウムに選択的除去が発生していると考えられる。なお、間違いの可能性

を排除するため、この濃縮水は3回の実験と計測(各残量、0.042mg/L, 0.017 mg/L, 0.029 mg/L)を行いその平均を記載している。この付着物については、どのようなものであるか検証を今後予定している。

### 3.4 浄化再生水量の検討

また、システム各部位での通過流量・再生流量ならびに供給圧力を表4に示す。タンク原水はポンプによって17.2L/minの量で水再生システムに給水され、各フィルタ部位を通過する。その際、本システムでは、前段逆浸透膜RO-1を通り浄化された④再生水の量は5.3L/minと多量であり、またおよそその倍の11.9L/minの⑤濃縮水が排出される。これはさらに後段

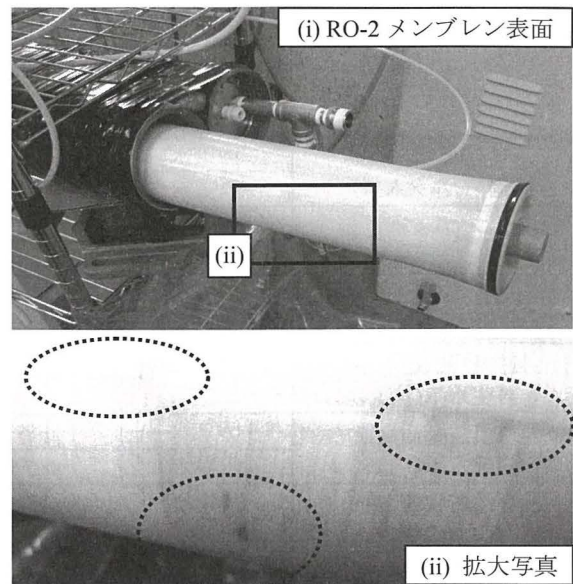


図6 逆浸透膜(RO-2)の付着物

表4 各部位の通過流量(総量・浄化・排出流量)および圧力

測定箇所	①濾過フィルタ 入口(総量)	②濾過フィルタ 出口(総量)	③活性炭フィル タ出口(総量)	④再生水(RO-1) 出口(浄化)	⑤濃縮水(RO-1) 出口(排出)	⑥再生水(RO-2) 出口(浄化)	⑦濃縮水(RO-2) 出口(排出)
通過水量[L/min]	17.2	17.2	17.2	5.3	11.9	5.2	6.7
圧力[MPa]	0.143	0.138	0.103	0.090	1.00	0.071	0.99

の逆浸透膜RO-2に供給され、浄化された⑥再生水5.2L/minと、不純物が濃縮された⑦濃縮水6.7L/minが排出される。本システムにより、99.6%以上セシウムが除去された浄化水④⑥が総合で10.5L/minと大量に精製されることが示された。これは比例換算すると原水が1000Bqでも4Bq以下に浄化でき、WHOの飲料水中の<sup>137</sup>Csガイドラインレベル:10Bq/L<sup>19)</sup>を達成する(また、上述のようにイレギュラーであるが96.4%以上の除去では100%である)。これにより汚染物質が除去された十分な量の加工用水の精製が加工機直前においてインプロセスで連続的に可能であることが示された。

通常、最終濃縮排水はさらにタンクに戻して再度浄化してもよいが、セシウム混入量が多くなると除去率が落ちることが考えられる。濃縮排水の始末であるが、水分の蒸発と別途吸着剤での処理などしなければならないと考えられる。一方、本研究の場合、濃縮水のセシウム残量が増加すると考えられるが異なっていた。この原因となっていると考えられる物質が同定できれば濃縮排水の吸着処理に応用できるものと考えられたため今後検証する。

4. 結 言

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- ・電気防錆加工システム(水循環再生システム)を利用し、水に混入された各種汚染物質除去への応用を提案した。
- ・汚染物質として放射性<sup>137</sup>Csを想定し、模擬的に非放射性<sup>133</sup>Csを混入した汚染水(濃度1mg/L)を作成、その除去試験を試みた。
- ・水再生システムにおいて、セシウム汚染水の水道水からの水質変化と浄化傾向を比較検討した。
- ・システム各部位のセシウム除去率(除去量)はそれぞれ、濾過フィルタ:6.1%(0.061mg/L)、活性炭フィルタ:18%(0.169mg/L)、逆浸透膜RO-1透過水:99.61%(0.767mg/L)、逆浸透膜RO-2透過水:99.88%(0.820mg/L)であった。システム全体の累積除去率ではRO-1までで99.7%、RO-2までで99.9%であった。
- ・99.6%以上セシウムを浄化した再生水の10.5L/min精製を達成し、十分な量の加工用水を得られる事が示された。
- ・逆浸透膜RO-1濃縮水においてはセシウム・電気伝導度の濃縮が確認されたが、逆浸透膜RO-2濃縮水において、予想に反し、特異なセシウム除去効果があった。その除去率は96.43%(0.792mg/L)と大きい。これは膜表面の微量の付着物に起因すると考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、科研費(若手研究(B)、課題番号:21760092、課題「電気防錆加工法の開発—水循環系の開発

と潤滑性改善、加工後工作物耐食性付与の検討—)および独立行政法人 科学技術振興機構 研究成果最適展開事業(フイージビリティスタディ【FS】ステージ 探索タイプ)「電気防錆加工法の開発—加工水再生浄化と排水の評価・改良—(AS221Z02911B)の助成を受けたことを記す。

5. 参考文献

- 1) S. TSUKAMOTO, K. OHASHI, N. NISHIKAWA, M. SUDOU, T. KUBO and T. NAKAJIMA: Proposal of Electricity Rust Preventive Machining Method in Cylindrical Grinding-Antirust Effect of Workpiece in Grinding with Water-, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., 71, 3 (2005) 337 (in Japanese).
- 2) S. Tsukamoto, N. Nishikawa, K. Okamoto and K. Ohashi : Development of the Electricity Rust Preventive Machining Method in Surface Grinding, Adv. Abras. Technol. VI Key Eng. Mater., Vols. 257-258, (2004) 483.
- 3) N. NISHIKAWA, K. OHASHI, K. YOSHIIHARA and S. TSUKAMOTO: Development of electric rust preventive machining method in internal grinding-Proposal on an environment-friendly machining using water instead of grinding fluid-, J. Environ. Conserv. Eng., 35, 6 (2006) 452 (in Japanese).
- 4) N. NISHIKAWA, S. TSUKAMOTO, K. OHASHI, R. MIYAKE, T. IYAMA and M. MIZUNO: Development of Electric Rust Prevention Machining Method in End Mill Cutting-Environmental Harmonic Machining Using Water in Cutting Machining-, J. Environ. Conserv. Eng., 37, 4 (2008) 274 (in Japanese).
- 5) N. NISHIKAWA, K. OHASHI, M. SUDOU and S. TSUKAMOTO: Development of electric rust preventive storage method in water-Proposal of metal parts storage using water without rust preventive agent or oil-, J. Environ. Conserv. Eng., 35, 5 (2006) 371 (in Japanese).
- 6) N.NISHIKAWA, Y.SATO, T.KATO, K.KARITA, T.IYAMA, M.MIZUNO, N.YOSHIIHARA, Y.HAGIHARA and S.TSUKAMOTO: Development of electric rust preventive machining method Rust prevention of workpiece and machine body, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 55, 3 (2011) 167 (in Japanese).
- 7) N.Nishikawa, Y.Sato, T.Katou, K.Karita, Y.Hagihara, N.Yoshihara, H. Okawai, H. Kato, T. Iyama, M. Mizuno and S. Tsukamoto: Development of electric rust preventive machining method-Verification of the Optimized Rust Prevention Current and Electrical Characteristic with Supporting Electrode in the Grinding-, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 55, 5 (2011) 290 (in Japanese).
- 8) N.NISHIKAWA, Y.SATO, T.KATOU, K.KARITA, T.IYAMA, M.MIZUNO, N.YOSHIIHARA, Y.HAGIHARA, S.TSUKAMOTO: Development of electric rust preventive machining method-Proposal of the machining water recycling system-, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 54, 10 (2010) 603 (in Japanese).
- 9) 西川尚宏, 佐藤佳則, 加藤将, 刈田清貴, 萩原義裕, 大川井宏明, 吉原信人, 井山俊郎, 水野雅裕, 塚本真也:電気防錆加工法の開発研究 加工水再生流量の増加について(速報), 精密工学会大会学術講演会講演論文集, Vol.2011 春季(CD-ROM)(2011), Page.ROMBUNNO.D62.
- 10) 中島利勝, 鳴瀧則彦:機械加工学, コロナ社, (1983) 181.
- 11) 広井進, 中山康夫:切削油剤と研削油剤, 幸書房, (1982) 244.
- 12) (財)機械振興協会 技術研究所:加工技術データファイル 基礎編(研削研磨加工), (財)機械振興協会 技術研究所, (2002) 32.
- 13) Edward A. Laws:水環境の基礎科学, 技報堂出版, (1996) 572, 616.
- 14) E. TACHIKAWA, Y. KOBAYASHI, T. MUROMURA, Y. ARATONO: Chemistry of Radioactive Waste Treatment, J. Nucl. Sci. Technol., 23, 3(1981) 154 (in Japanese).
- 15) J. M. Arnal, M. Sancho, G. Verdú, J. M. Campayo, J. M. Gozálviz: Treatment of <sup>137</sup>Cs liquid wastes by reverse osmosis. Part II. Real application, Desalination, 154, 1 (2003) 35.
- 16) H.H.ユースック, R.W.レヴィー:腐食反応とその制御(第3版), 産業図書株式会社, (1989) 59, 217.
- 17) 社団法人 日本アイントープ協会:アイントープ便覧(改訂3版), 丸善, (1984) 2.
- 18) 小山昭夫, 下浦一邦, 筒井天尊:逆浸透法による放射性廃水の処理, 日本原子力学会秋の大会予稿集, 1981, 2(1981) 89.
- 19) WHO編:WHO飲料水水質ガイドライン(第3版) 第1巻, 日本水道協会, (2008) 203.