

# 株式会社だい久製麺向 水リサイクル装置（Reclam<sup>®</sup>）の現地試験結果

Results of Test for Wastewater Recycling Unit in  
Daikyu Noodle-making Co., LTD.



細谷仁人\*  
Masato Hosoya  
技術士（上下水道部門）

当社はだい久製麺より、水リサイクル装置（当社商品名：Reclam<sup>®</sup>）を受注し、2015年4月から供用開始予定である。この設備は同社にて製造されている各種麺類の茹で工程排水を主な処理対象とし、ボイラ補給水などの用水に再利用する。受注に先駆けて現地試験をおよそ2カ月実施し、この間の処理性能としては脱塩率目標90%に対し、実績97%、電気伝導度目標10 mS/mに対し、実績3 mS/mと非常に良質な処理水が得られた。また、遠隔監視装置（当社商品名：WaterEye<sup>®</sup>）によって収集された運転データから設備の健全性を評価・確認し、円滑な試験運転を達成した。

Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. will supply the Wastewater recycling unit for Daikyu Noodle-making Co., Ltd. in April 2015. Raw water of this unit is drainage from Noodles boiling process and treated water is used as makeup water for a boiler, and so on. We carried out two months field test prior to order. As a result, rejection rate of the salt was more than 97%, and electric conductivity of permeate showed 3mS/m in average. We could evaluate operation data for the test unit, because we took the operating data by WaterEye<sup>®</sup> which is remote monitoring system for water treatment plants.

## Key Words :

水リサイクル装置	Wastewater recycling unit
食品工場排水	Food factory effluent
精密ろ過	Micro filtration
逆浸透	Reverse osmosis

## 【セールスポイント】

当社とユーザが共にリサイクル水の利用先を検討し、水リサイクル装置（Reclam<sup>®</sup>）を導入することで、今まで電気・電子業界で主に行われていた水リサイクルを食品分野にも展開できる。また、遠隔監視装置（WaterEye<sup>®</sup>）によって収集されたデータをもとに装置の運転健全性の評価を行え、加えてトラブル発生時も迅速な対応ができる。

## まえがき

近年、多くの企業が「企業の社会的責任 (Corporate Social Responsibility)」の中で「地球環境の保護」をキーワードの一つに掲げており、その中には水資源の有効活用と環境負荷削減 (低コストによるリサイクルシステム) に関する内容も含まれることが多い。

また、地理的に水資源 (用排水費) が高コストの場合、工場での製造コストに占める用排水費の比率が高くなる。そのために場内で水を再利用するというニーズも潜在している。これらの背景から、当社ではこの潜在ニーズに着目し、水リサイクル設備の拡販に努めている。<sup>1)</sup>

当社はこれまで液晶工場排水、鉄鋼排水、下水処理水などを対象に数千～数万  $\text{m}^3/\text{d}$  程度の比較的大規模な水リサイクル設備の導入を行ってきた。<sup>2) 3)</sup>

しかし、用排水費が高コストになっている対象工場は、都市部に立地している工場が多く、水リサイクルを行う対象水量は数十～数百  $\text{m}^3/\text{d}$  程度の中小規模である。当社はこのニーズに対応すべく、ユニット化された水リサイクル装置「Reclam<sup>®</sup>」を上市した。

水リサイクルの導入に当たっては、処理後のリサイクル水をどのように活用するのかがポイントであり、本案件においては、リサイクル水の利用先をユーザと一緒に検討し、現地試験にて処理水の水質確認を行うことで、実装置の導入に至った。

本稿では、2014年に実施した株式会社だいい久製麺

向 Reclam<sup>®</sup> の導入における現地試験結果について紹介する。

## 1. 試験目的

Reclam<sup>®</sup> の導入には、現状の用排水費と水リサイクルのランニングコストとを比較し、如何に早く投資回収できるかがキーポイントであり、定期的なメンテナンスを含むランニングコストを抑えることが求められている。とくに、薬品洗浄と膜交換の費用はランニングコストの半分以上を占めており、これらの費用抑制が重要な課題である。

本試験では、膜の薬品洗浄の周期や性能回復性などの運転特性の確認と、リサイクル水の水質確認を目的とした。

## 2. 実験装置の概要

### 2.1 排水の性状

食品工場から出される排水は、有機物濃度が高く、標準活性汚泥法などの生物処理後に沈殿処理を行って固液分離を行い、下水などに排出されるケースが多い。

製麺工場の排水も同様に、主に麺の茹で工程から排出される排水であり、食品から茹で湯に溶解した有機物が多く溶解している。また、麺つゆの製造が行われているため、醤油由来の塩類濃度も多く溶解しており、排水の電気伝導度は100～200  $\text{mS/m}$  と高い。

本装置では、工場排水の生物処理 + 沈殿処理水 (下水放流水) を原水としている。

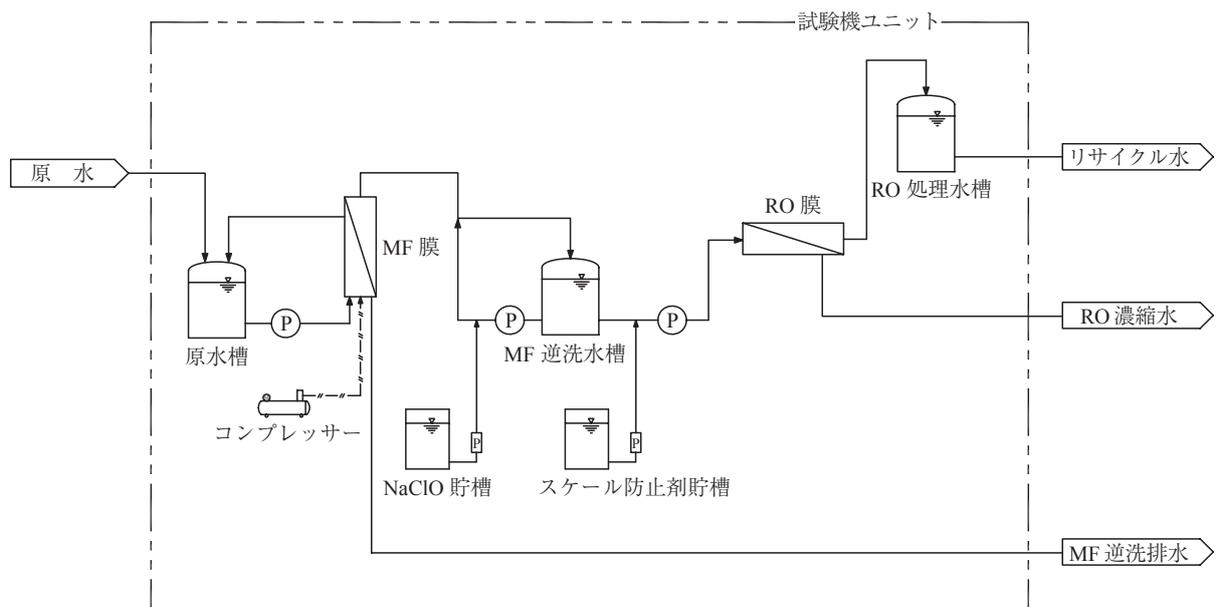


図1 水リサイクル装置 試験機 フローシート

## 2.2 装置の構成と特徴

図1に本装置のブロックフローを、写真1に装置の全景を示す。対象原水は原水槽に受入れられ、MF膜によって原水中の有機性懸濁成分を除去した後、RO膜によって塩化ナトリウムなどの脱塩を行う。

MF膜はポリフッ化ビニリデン製の公称孔径0.2 μmの中空糸膜であり、膜面積は30 m<sup>2</sup>/モジュールである。本装置は4本の膜モジュールから構成されている。

RO膜は合成高分子（ポリアミド）系複合膜のスパイラル膜であり、膜面積は37 m<sup>2</sup>/モジュールである。本装置は3本の膜モジュールから構成されている。生物処理後の水を対象水としているものの、有機物が残留することも考慮し、バイオフィアウリグ防止の目的でスペーサの厚みが約0.9 mmの低ファウ



写真1 実験装置全景

リング膜を採用している。

図2に遠隔監視装置「WaterEye®」の基本概念図を示す。本装置はインターネットを利用した水処理設備専用の遠隔監視装置であり、現地制御盤内に設置したデータ保存、およびデータ転送用プログラムを組み込んだ小型コンピュータと WaterEye® サーバから構成される。現場小型コンピュータと WaterEye® サーバがインターネット経由で接続され、現地で蓄積した必要な運転データは本社サーバに転送される。

試験実施者は本社サーバ内のデータをインターネット経由で閲覧することで、現地装置の運転状況を確認することができる。WaterEye® はアナログ信号に加え、警報などの接点信号、機器の運転/停止などの状態信号も採取可能であり、現地の運転状況がほぼすべて把握できる。また、必要なデータ毎に図表化方法をカスタマイズすることが可能であり、運転評価のためのデータ整理が容易に行える特徴がある。<sup>1)</sup>

## 3. 試験結果

### 3.1 MF膜の運転評価

MF膜は、MF処理水流量計の信号により原水ポンプのインバータ周波数を変えることで、MF処理水量を一定値に制御する運転を行った。沈殿処理後の水をMF膜へ供給しているため、濁度変動も考慮し、クロスフローろ過方式を採用している。

MF膜の物理洗浄方式はエアスクラビング+逆圧

### \*遠隔監視サービス (ウォーターアイ)

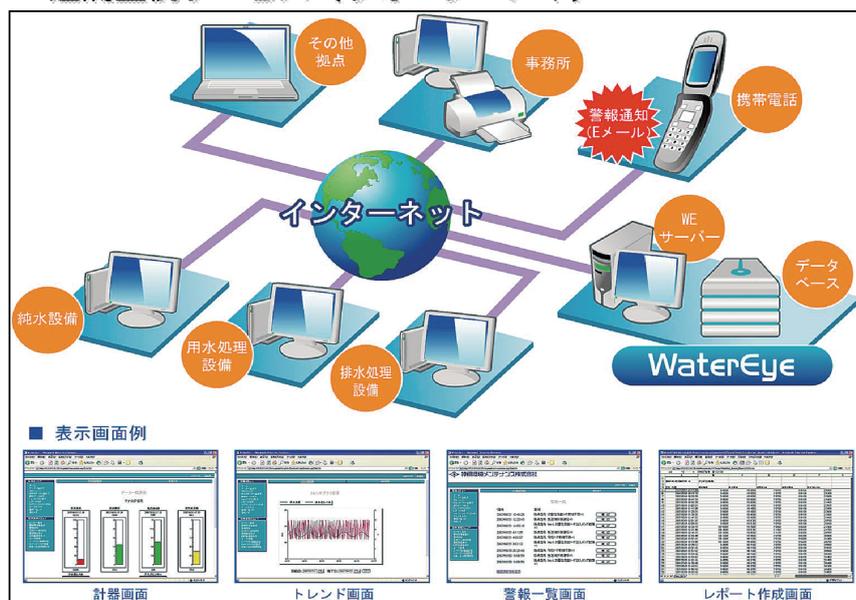


図2 WaterEye® 基本概念図

水洗浄であり、約30分に1回の頻度で逆洗水中に次亜塩素酸ナトリウムを0.5～5 mg/L 添加して洗浄を実施している。図3に原水・MF 処理水量の推移、図4にMF 膜の差圧の推移を示す。

RO 膜処理の前処理である MF 膜の運転状況は、本装置の前段の沈殿処理が良好に行われている期間、大きな差圧の上昇も見られず、膜差圧平均40 kPa で安定した運転を行うことができた。

しかし、試験期間中に数回、差圧が上昇する傾向が見られた（図4中①～④のポイント）。①のポイントでは、工場の生産工程の影響で急激に排水性状が変化し、沈殿池からの汚泥がキャリーオーバーした影響であると推測される。②、③のポイントでは、前段の生物処理が不安定であったため、沈殿処理水に含まれる有機物濃度や濁度が上昇した影響と考えられる。④のポイントでは、最適 Flux を評価するために、Flux を上げて運転した影響であったと考えられる。

①のポイントでは物理洗浄の間隔を調整することで、③のポイントでは生物処理の運転調整を行うことで原水性状が安定化し、薬品洗浄を実施することなく運転を継続できた。②のポイントでは、次亜塩素酸ナトリウム500 mg/L で簡易な薬品洗浄である S-CIP (Short chemical Cleaning In Place) を実施した。表1に洗浄結果を示す。洗浄の回復率は約90%と良好な結果であった。また、この試験期間中には強

アルカリや強酸での薬品洗浄を実施することなく、運転を継続することが可能であった。

### 3.2 RO 膜の運転評価

RO 膜は、RO 加圧ポンプのインバータ周波数を固定して運転を行った。図5にRO 処理水量の推移、図6にRO 膜の膜差圧（膜入口圧－膜出口圧）・操作圧（（膜入口圧＋膜出口圧）／2－膜透過圧）の推移を示す。

RO 膜の操作圧は平均0.45 MPa とほぼ一定の圧力で推移したが、膜差圧については、6月初旬（図6中の⑤のポイント）に急激な上昇傾向が見られた。これは最適 Flux を評価するために、Flux を上げて運転した影響で有機物負荷が増加し、バイオフィリングが進行したことが原因と考えられる。

差圧上昇が発生した⑤のポイントで、水酸化ナト

表1 MF 膜洗浄結果

項目	単位	初期	洗浄前	洗浄後
MF 入口圧	Mpa	0.05	0.119	0.059
MF 濃縮水圧	Mpa	0.04	0.104	0.049
MF 透過水圧	Mpa	0.018	0.021	0.019
MF 透過水量	m <sup>3</sup> /h	4.00	3.98	3.97
MF 差圧	kPa	27	90.5	35

※ MF 初期圧が27 kPa のため、35 kPa まで差圧回復すると回復率は87%

※ MF 膜 S-CIP 条件：NaClO 500 mg/L, 30分循環+30分浸漬を3セット

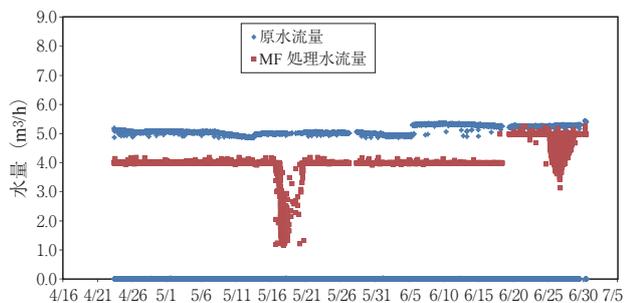


図3 原水・MF 処理水量の推移

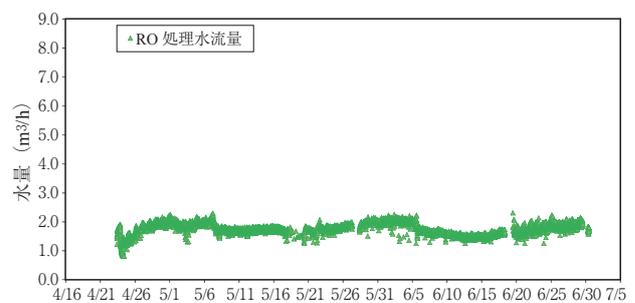


図5 RO 処理水量の推移

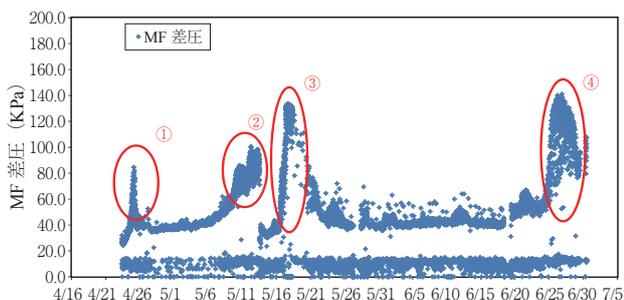


図4 MF 膜の差圧の推移

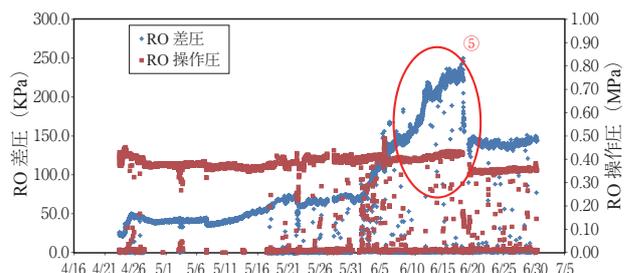


図6 RO 膜の差圧・操作圧の推移

表2 RO膜洗浄結果

項目	単位	初期	洗浄前	アルカリ洗浄後	酸洗浄後
RO入口圧	Mpa	0.420	0.541	0.452	0.441
RO濃縮水圧	Mpa	0.390	0.312	0.325	0.313
RO透過水圧	Mpa	0.002	0.004	0.011	0.007
RO透過水量	m <sup>3</sup> /h	1.98	1.69	2.28	2.13
RO濃縮水量	m <sup>3</sup> /h	0.9	0.9	0.9	0.9
RO操作圧	MPa	0.403	0.423	0.378	0.37
RO差圧	kPa	30	229	127	128

※ RO初期差圧が30kPaのため、128kPaまで差圧回復すると回復率は51%

※ RO膜薬品洗浄条件：アルカリ洗浄 pH11.0 30分循環+30分浸漬を3セットの後、一晚浸漬  
酸洗浄 pH2.0 30分循環+30分浸漬を3セット

表3 MF処理水質

項目	単位	原水	MF処理水
濁度	度	2	0.1未満
アルミニウム	mg/L	1.07	0.03
SS	mg/L	—	2未満

リウムを注入しpH11に調整したアルカリ洗浄と、塩酸を注入しpH2に調整した酸洗浄を実施した。表2に洗浄結果を示す。洗浄の回復率は約50%であった。これは、RO膜は強酸性または強アルカリ性の薬品で洗浄が実施できないため、微生物が圧密されたファウリング物質を除去しきれなかったことが原因と考えられる。この結果より、最適Fluxにて運転することに加え、RO膜のバイオフィアリング対策を実装置へ反映することとした。

### 3.3 処理水質の評価

表3に原水・MF処理水水質の結果を示す。生物処理後の沈殿処理を安定化させるため、PACの注入を行っている影響から、試験原水のアルミニウム濃度は一般的な水道水質と比較して高い値であったものの、MF膜にて処理を行うことで0.03 mg/Lと低レベルまで除去可能であった。濁度についても同様に定量下限値以下の水質であり、RO膜の前処理として良好な水質が得られた。

図7にRO原水(MF処理水)・RO処理水の電気伝導度の推移、図8に脱塩率の推移を示す。RO処理水の平均電気伝導度は目標10 mS/mに対し、実績3 mS/mであり、平均脱塩率は目標90%に対し、実績97%と良好な脱塩処理が行えている。

また、食品工場では衛生面などの観点から、リサイクル水の安全性確認が不可欠である。

本試験では、リサイクル水の水道水質基準の全数項目を分析し、安全性の評価を行った。表4に水質

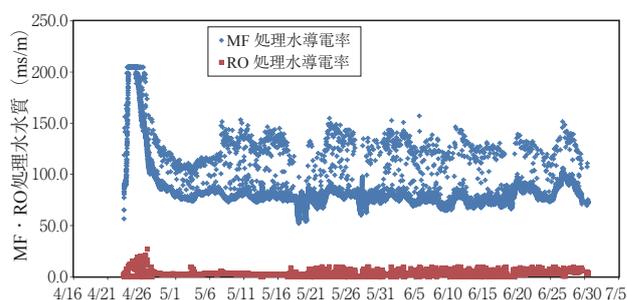


図7 MF・RO処理水の電気伝導度の推移

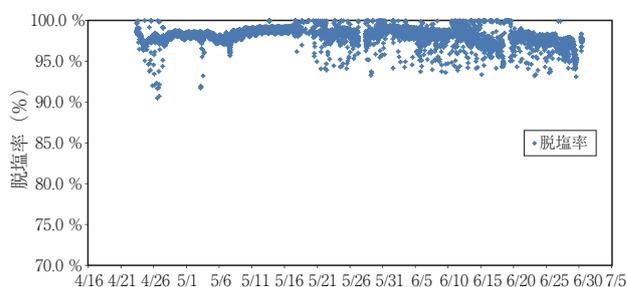


図8 脱塩率の推移

分析結果を示す。水質分析の結果、水道水質基準を満たしており、リサイクル水の安全性を確認できた。

### 3.4 排水(下水放流水)水質の評価

実装置の導入を行う場合、RO膜にて脱塩処理を行うため、今まで下水放流してきた水質から濃縮された排水を下水放流しなければならない。このため、濃縮排水が下水放流基準値内であるかの確認を行った。表5に水質分析結果を示す。水質分析の結果、下水道放流基準を満たしており、実装置の導入に支障がないことを確認できた。

表4 リサイクル水（RO 処理水）の水質

検査項目	単位	検査結果	水道水質基準
一般細菌	個 /mL	3	100以下
大腸菌	—	不検出	検出しないこと
カドミウムおよびその化合物	mg/L	0.0003未満	0.003以下
水銀およびその化合物	mg/L	0.00005未満	0.0005以下
セレンおよびその化合物	mg/L	0.001未満	0.01以下
鉛およびその化合物	mg/L	0.001未満	0.01以下
ヒ素およびその化合物	mg/L	0.001未満	0.01以下
六価クロム化合物	mg/L	0.005未満	0.05以下
亜硝酸態窒素	mg/L	0.03未満	0.04以下
シアン化物イオンおよび塩化シアン	mg/L	0.001未満	0.01以下
硝酸態窒素および亜硝酸態窒素	mg/L	1.36	10以下
フッ素およびその化合物	mg/L	0.08未満	0.8以下
ホウ素およびその化合物	mg/L	0.3	1.0以下
四塩化炭素	mg/L	0.0002未満	0.002以下
1,4-ジオキサン	mg/L	0.005未満	0.05以下
シス-1,2-ジクロロエチレンおよび トランス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004未満	0.04以下
ジクロロメタン	mg/L	0.002未満	0.02以下
テトラクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.01以下
トリクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.01以下
ベンゼン	mg/L	0.001未満	0.01以下
塩素酸	mg/L	0.06未満	0.6以下
クロロ酢酸	mg/L	0.002未満	0.02以下
クロロホルム	mg/L	0.006未満	0.06以下
ジクロロ酢酸	mg/L	0.004未満	0.04以下
ジブromクロロメタン	mg/L	0.01未満	0.1以下
臭素酸	mg/L	0.001未満	0.01以下
総トリハロメタン	mg/L	0.01未満	0.1以下
トリクロロ酢酸	mg/L	0.02未満	0.2以下
ブromジクロロメタン	mg/L	0.003未満	0.03以下
ブromホルム	mg/L	0.009未満	0.09以下
ホルムアルデヒド	mg/L	0.008未満	0.08以下
亜鉛およびその化合物	mg/L	0.1未満	1.0以下
アルミニウムおよびその化合物	mg/L	0.01未満	0.2以下
鉄およびその化合物	mg/L	0.001未満	0.3以下
銅およびその化合物	mg/L	0.1未満	1.0以下
ナトリウムおよびその化合物	mg/L	7.55	200以下
マンガンおよびその化合物	mg/L	0.001未満	0.05以下
塩化物イオン	mg/L	3.29	200以下
カルシウム、 マグネシウム等（硬度）	mg/LasCaCO <sub>3</sub>	2.0未満	300以下
蒸発残留物（TS）	mg/L	20	500以下
陰イオン界面活性剤	mg/L	0.02未満	0.2以下
ジェオスミン	mg/L	0.000001未満	0.00001以下
2-メチルイソボルネオール	mg/L	0.000001未満	0.00001以下
非イオン界面活性剤	mg/L	0.005未満	0.02以下
フェノール類	mg/L	0.0005未満	0.005以下
有機物等（TOC）	mg/L	0.3未満	3以下
pH 値	—	6.6	5.8～8.6
臭気	—	異常なし	異常なし
色度	度	1未満	5以下
濁度	度	0.1未満	2以下

表5 排水（下水放流水）の水質

検査項目	単 位	検査結果	下水排除基準
pH	—	7.5	5~9
BOD	mg/L	5未満	600未満
n-ヘキ（鉱油）	mg/L	2未満	5以下
n-ヘキ（植物油）	mg/L	2未満	30以下
SS	mg/L	2未満	600未満
カドミウム	mg/L	0.01未満	0.1以下
シアン化合物	mg/L	0.1未満	1以下
鉛	mg/L	0.1未満	0.1以下
六価クロム	mg/L	0.05未満	0.5以下
砒素	mg/L	0.01未満	0.1以下
水銀	mg/L	0.0005未満	0.005以下
アルキル水銀	mg/L	未検出	検出されないこと
セレン	mg/L	0.01未満	0.1以下
ふっ素	mg/L	0.1未満	8以下
ほう素	mg/L	0.59	10以下
窒素	mg/L	35	380未満
銅含有量	mg/L	0.1未満	3以下
亜鉛含有量	mg/L	0.1未満	2以下
溶解性鉄	mg/L	0.04	10以下
溶解性マンガン	mg/L	0.01未満	10以下
クロム含有量	mg/L	0.1未満	2以下
ヨウ素消費量	mg/L	2.7	220未満
有機燐化合物	mg/L	0.01未満	1以下
PCB	mg/L	0.0005未満	0.003以下
ジクロロメタン	mg/L	0.02未満	0.2以下
四塩化炭素	mg/L	0.002未満	0.02以下
1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.004未満	0.04以下
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.002未満	1以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.04未満	0.4以下
1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	0.1未満	3以下
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	0.006未満	0.06以下
トリクロロエチレン	mg/L	0.03未満	0.3以下
テトラクロロエチレン	mg/L	0.01未満	0.1以下
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.002未満	0.02以下
ベンゼン	mg/L	0.01未満	0.1以下
フェノール類	mg/L	0.5未満	5以下
ダイオキシン	pg-TEQ/L	10未満	10以下

表6 機器仕様

項 目	機 器 仕 様
処 理 水 量	150 m <sup>3</sup> /d
MF 膜	膜 本 数 10本 膜 材 質 ポリフッ化ビニリデン（PVDF） ろ 過 方 式 クロスフローろ過 物 理 洗 浄 逆圧水洗浄+エアスクラビング 薬 品 洗 浄 塩酸、水酸化ナトリウム、次亜塩素酸ナトリウム
RO 膜	膜 本 数 12本 膜 材 質 合成高分子（ポリアミド）系複合膜 ろ 過 方 式 クロスフローろ過 薬 品 注 入 スケール防止剤、微生物抑制剤 薬 品 洗 浄 塩酸、水酸化ナトリウム

#### 4. 試験結果の実装置への反映

本試験から得られた結果をもとに、実装置の仕様決定を行った。機器仕様を表6に、リサイクル水の利用系統図を図9に示す。RO膜ではバイオフィアリングが発生した場合、差圧回復性が悪い結果であった。ユーザとのリサイクル水の利用先検討の結果、ボイラ補給水などの工場用水として利用することになったため、「水リサイクル技術の下水への適用」で検証した微生物抑制剤の注入を行うことで安定運転を行う予定である。<sup>4)</sup>

また、本試験で運転状況の確認、データ収集に用いたWaterEye<sup>®</sup>は、当社社員が設備の運転状況をユーザと共有できることで、迅速な対応と適切な設備診

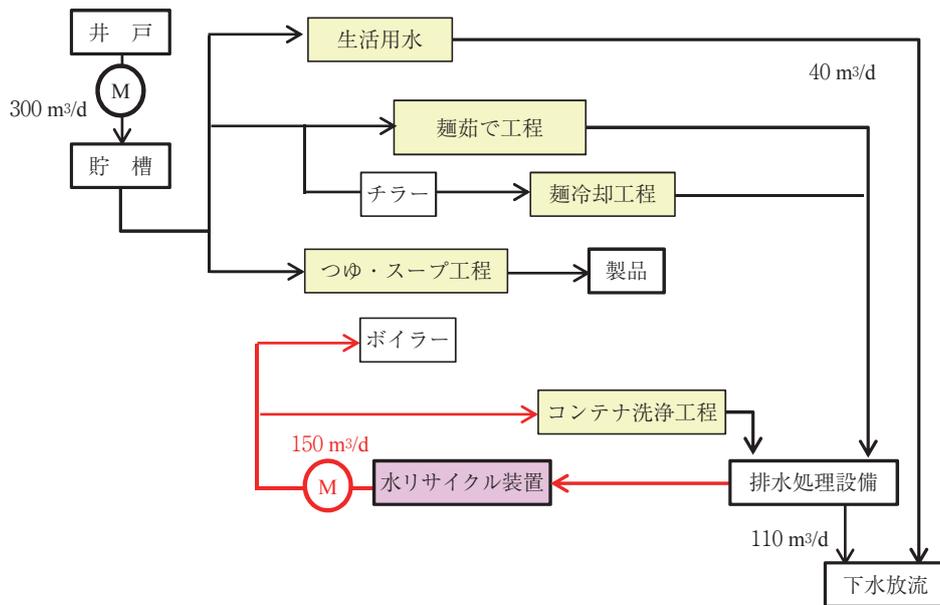


図9 リサイクル水系統図

断と保守提案を行えるため、ユーザからも高い評価を受け、こちらも Reclam<sup>®</sup> と一緒に導入予定である。  
**むすび**

本稿では株式会社だい久製麺にて行った試験結果と Reclam<sup>®</sup> および WaterEye<sup>®</sup> の概要について紹介した。

社会の環境負荷低減ニーズの高まりや水資源の枯渇傾向から、水リサイクルのニーズはますます高まると予想され、当社もそのニーズに応えるべく、大規模なプラント建設に加え、中小規模を対象としたユニット型の Reclam<sup>®</sup> の導入を促進していきたいと

考えている。

最後に、本試験に多大なご協力をいただいた株式会社だい久製麺の関係各位に深く感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 安友邦彦ほか：神鋼環境ソリューション技報，通巻019号 Vo.10通巻 No.01 (2013)，p22-26
- 2) 細谷仁人ほか：神鋼環境ソリューション技報，通巻013号 Vo.07通巻 No.01 (2010)，p16-22
- 3) 塩田憲明：神鋼環境ソリューション技報，通巻015号 Vo.08通巻 No.01 (2011)，p36-40
- 4) 山地洋樹ほか：神鋼環境ソリューション技報，通巻013号 Vo.07通巻 No.01 (2010)，p23-28

\*水環境事業部 産業水処理技術部