



技術小論

液体廃棄物処理系への中空糸膜フィルタの導入

塚本 裕一 館岡 修 吉村 修一
東浦 則和 増井 健二

新型転換炉ふげん発電所

資料番号：75-4

Application of Hollow Fiber Filter to Liquid Waste Treatment System

Yuuichi Tsukamoto Osamu Tateoka
Shuichi Yoshimura Norikazu Higashiura
Kenji Masui
(Fugen Nuclear Power Station)

ふげん発電所の液体廃棄物処理系ろ過装置のうち、機器ドレン処理系のプレコート式ろ過装置を中空糸膜フィルタに改造し、廃液処理能力の向上とフィルタスラッジ発生量の低減を図った。

放射性物質に対する除去能力がプレコート式ろ過装置に比べて約5倍高くまたフィルタスラッジ発生量を約1/6に低減できる。

本報では、中空糸膜フィルタを導入するにあたって実施した各種性能試験の結果および導入後の運転実績について報告する。

1. はじめに

近年発電用軽水型原子炉施設では、復水の浄化および液体廃棄物のろ過処理に中空糸膜フィルタを採用し、ろ過装置の運転性の向上、二次廃棄物発生量の低減化等を図っている。

新型転換炉ふげん発電所（以下「ふげん」という。）においては、機器ドレン廃液等の電導度の低い廃液を処理するために、機器ドレン処理系にろ過装置と脱塩装置を設けているが、放出放射エネルギーの低減化を図る観点から、その大部分を蒸発濃縮処理し、ろ過・脱塩処理する廃液は放射性物質濃度の極低い廃液に限定されていた。このろ過装置から年間約1.2m³のフィルタスラッジが発生していた。そこで、ろ過装置の放射性物質に対する除去能力の向上（ろ過・脱塩処理の対象廃液の拡大）とフィルタスラッジ発生量の低減化を図るため、平成元年8月に機器ドレン処理系のプレコート式ろ過装置を中空糸膜フィルタに改造した。

中空糸膜フィルタ導入後は、平成元年8月から平成2年5月にかけて発生した機器ドレン廃液および床ドレン廃液の約35%（導入前：約10%以下）をろ過・脱塩処理している。その間の機器ドレン処理系

からの放出放射エネルギーは、すべて検出限界以下で推移しており、廃液中の放射性物質の除去が十分に行われている。また、フィルタスラッジの発生量は、年間約0.2m³程度と推定され、従来の発生量（約1.2m³/年）を大幅に下廻る見込みである。ここでは、中空糸膜フィルタを導入するにあたって実施した各種性能試験の結果および導入後の運転実績について報告する。

2. 液体廃棄物処理系の概要

2.1 系統概要

図1に液体廃棄物処理系統の概念図を示す。

液体廃棄物は、その発生源と性状によって機器ドレン廃液、床ドレン廃液、再生廃液、洗濯廃液、重水ドレン廃液に分類される。このうち、中空糸膜フィルタ処理の対象とした廃液は、機器ドレン廃液および床ドレン廃液である。機器ドレン廃液は、各建屋のドレンサンプタンクに受け、廃液収集タンクに集め、ろ過・脱塩処理を行った後、復水貯蔵タンクに回収するようになっている。プラント内の保有水が一定量を超える場合は、放射性物質濃度の低い廃液を復水器冷却水放水路から海に放出する。床ド

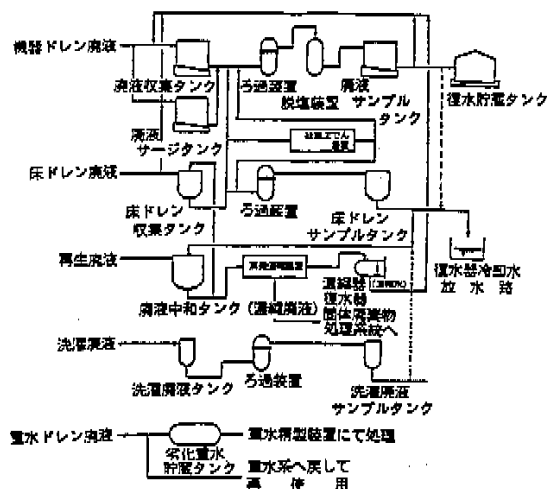


図1 液体廃棄物処理系の概念図

レン廃液は、電導度が高い場合にはドレンサンプから床ドレン収集タンクに集め、ろ過処理または蒸発濃縮処理を行い、電導度が低い場合には廃液サージタンクに移送し、機器ドレン処理系でろ過・脱塩処理を行う。中空系膜フィルタ導入後は、廃液収集タンクおよび廃液サージタンクに収集した電導度の低い廃液をろ過・脱塩処理し、回収または放出する。

2.2 廃液の種類と発生実績

機器ドレン廃液および床ドレン廃液の種類とその

発生実績は、表1に示すとおりである。定格出力運転時に発生する機器ドレン廃液の種類は、一次冷却水のサンプリングブロー水、復水脱塩装置脱塩器の逆洗水、工安系サーベイランス水等である。床ドレン廃液は、格納容器空気再循環系ドレン水、スタックトンネルサンプ水等である。定期点検時に発生する機器ドレン廃液の種類は、主復水器ドレン水、工安系サーベイランス水、燃料交換プールドレン水、蒸気ドラムドレン水等である。床ドレン廃液は、スタックトンネルサンプ水等である。

機器ドレン廃液および床ドレン廃液の発生量は、定格出力運転時には約30m³/日以下であるが、通常定期点検時の場合は平均約50m³/日（最大約100m³/日）である。

2.3 従来の廃液処理方法と課題

機器ドレン廃液および床ドレン廃液は、廃液中の化学的不純物と放射性物質を除去し、一次冷却材として再利用するが、プラント内の保有水量に応じて、約40%（約7000m³/年）を海に放出してきた。廃液の処理は、昭和56年度までろ過・脱塩処理のみで処理しており、そのときの放出放射能量は、約 3.7×10^7 Bq（約1 mCi）であった。当時の放出放射能量は、放出管理目標値の約1/1000に相当するものであったが、放出低減化を図る観点から、昭和57年度から平成元年度にかけて、放射性物質に対する除去性能の高い蒸発濃縮装置によりそのほとんどを処理し、その後ろ過・脱塩処理を行ってきた。その結果、機器ドレン処理系からの放出放射能は1/10以下に低減された。しかしながら、廃液処理容量とし

表1 機器ドレン、床ドレンの廃液発生量

	機器ドレン廃液		床ドレン廃液	
	種 類	発 生 量 (m ³ /月)	種 類	発 生 量 (m ³ /月)
原子炉運転時	・一次系冷却水のサンプリングブロー水	約800	・スタックトンネルサンプ水	約100
	・復水脱塩装置脱塩器の逆洗水		・格納容器空気再循環系ドレン水	
	・工安系サーベイランス水（蒸気放出プール水）		・換気空調系のローカルクーラードレン水等	
	・廃液脱塩装置脱塩器の洗浄水等			
原子炉停止時	・主復水器ドレン水	約1500	・スタックトンネルサンプ水	約100
	・工安系サーベイランス水（蒸気放出プール水）		・換気空調系のローカルクーラードレン水等	
	・燃料交換プールドレン水			
	・蒸気ドラムドレン水			
	・建屋サンプ水等			

ては、蒸発濃縮装置の処理容量が約 $3.0\text{ m}^3/\text{h}$ （2基）であるため、ろ過・脱塩処理の約 $10\text{ m}^3/\text{h}$ （最大約 $15\text{ m}^3/\text{h} \times 1$ 基）と比較すると約1/3に減少した。処理容量の減少は定期点検時のように一時期に多くの廃液が発生する場合、点検作業の工程にも影響することから、ろ過・脱塩処理のみで処理できるようろ過装置の性能向上を図る必要があった。

中空糸膜フィルタは、プレコート材を使用しないため、フィルタスラッジ発生量の低減化およびろ過装置の自動運転による廃液処理操作の軽減化が図れる。また、ろ過面の孔径が $0.06\text{ }\mu\text{m}$ であるため、微細な放射性クラッドをも除去することができ、ろ過・脱塩処理のみで放出放射エネルギーの低減が期待できる。このため、中空糸膜モジュールのコードでのろ過特性試験結果を踏まえ、昭和60年度から実廃液によるろ過特性試験および中空糸膜フィルタの放射性物質に対する除去性能の確認等を行い、機器ドレン処理系のろ過装置への適用について検討してきた。

3. 中空糸膜フィルタ導入の検討

3.1 原理

図2に中空糸の断面図を示す。中空糸はトリ酢酸セルロース製で外径が約 $520\text{ }\mu\text{m}$ 、内径が約 $350\text{ }\mu\text{m}$ の細い筒状の構造となっており、孔径約 $0.06\text{ }\mu\text{m}$ の隙間を廃液が外側から内側に流れ、クラッドを捕集する。また、中空糸の表面に堆積したクラッドは、エアバブリングと内側から外側に洗浄水を通水することにより除去し、フィルタスラッジ貯蔵タンクに移送される。

中空糸膜モジュールの構造は、図3に示すようにモジュール1体当たり4800本の中空糸を4分割して上部と下部で固定し、下部方向に流れたろ過液を取

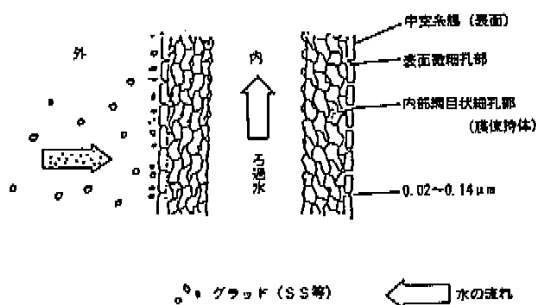


図2 中空糸の断面図

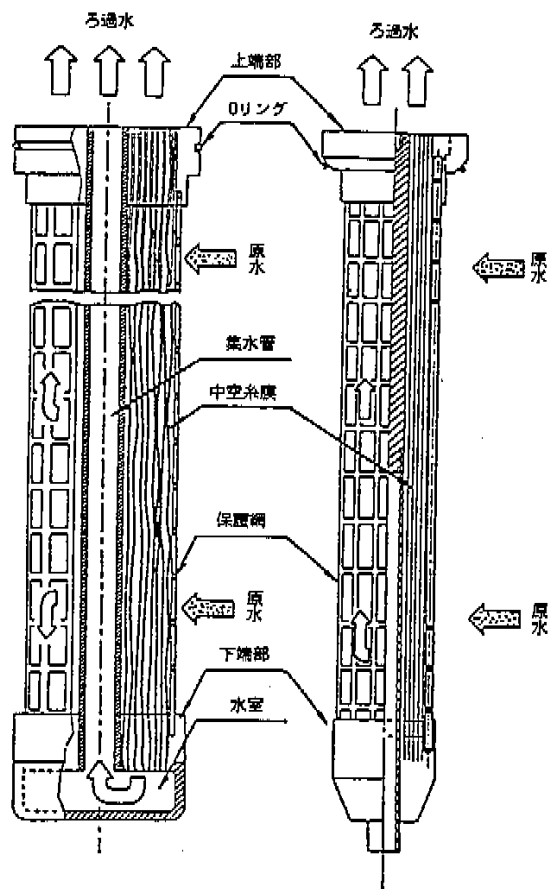


図3 中空糸膜モジュール構造図

水管により上部に集める両端集水型である。このタイプは、中空糸内の流速分布を均一にし、膜面を有効に利用することにより、中空糸膜フィルタの差圧上昇を抑える効果がある。実機ろ過装置は、この中空糸膜モジュールを19本充填（ろ過面積： 143 m^2 ）しており、通常 $10\text{ m}^3/\text{h}$ （最大 $15\text{ m}^3/\text{h}$ ）の流量で処理する。図4に両端集水型中空糸膜モジュールの外観を示す。また、図5に中空糸膜モジュール装着後のろ過装置の内部状態を示す。

3.2 ろ過特性試験

(1) コールド試験

今回実機に採用した両端集水型の中空糸膜モジュールは、難ろ過性クラッド（非品質）を通水液とした加速試験を実施している。このモジュールのろ過特性については、中空糸束の上部と下部から処理水を取り出す両端集水型の構造とすることで、図6に示すように逆洗後の差圧上昇と差圧変動（逆

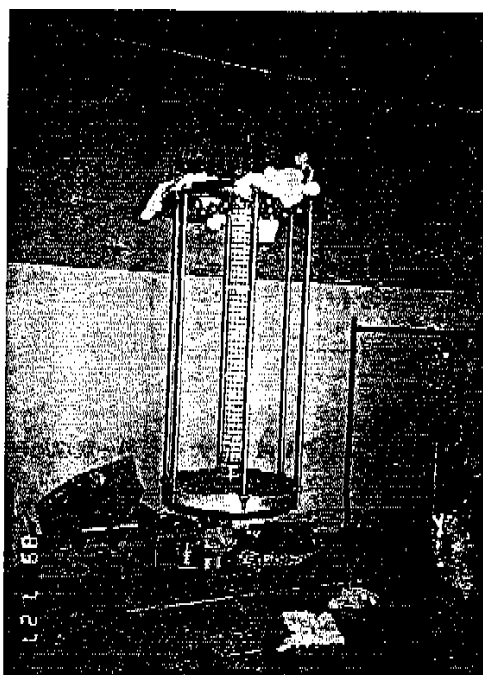


図4 中空糸膜モジュール外観

洗効果)が抑えられ、膜表面の有効利用、差圧上昇の抑制および中空糸膜モジュールの長寿命化が図れることを確認している。また膜面の油分およびバクテリアによる汚染の影響について、油分濃度が最大9 ppm、バクテリア量が最大 2×10^4 個/mlの模擬廃液を用いて調査している。その結果、逆洗後の差圧の経年変化は、油分、バクテリアが無いときに比べて約3倍高い傾向を示したが、実廃液の性状(油分:通常検出限界以下、バクテリア: 10^3 個/ml以下)と比較し、支障のない範囲であることを確認

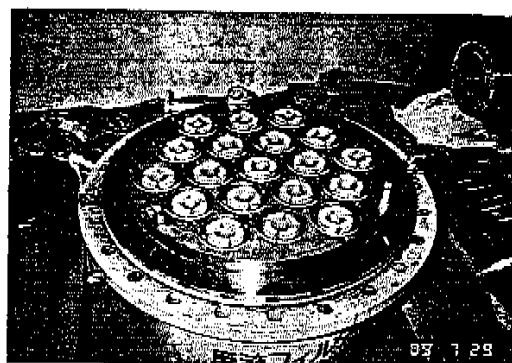


図5 ろ過装置の内部構造

した。

(2) ホット試験

従来の機器ドレン処理系のろ過装置は、放出放射エネルギーの低減化を図る観点から、放射性物質濃度の極く低い廃液に限定し処理してきたが、ろ過装置の放射性クラッドに対する除去能力の向上を図ることによって、処理対象廃液の拡大が可能となる。このため、コールド試験により、その有効性が確認されている両端集水型中空糸膜モジュール1体と実機脱塩装置を模擬したイオン交換樹脂カラムを用い、ろ過・脱塩処理を行った場合の放射性物質に対する除去率を実廃液により確認した。その結果、ろ過・脱塩処理の放射性物質に対する除去性能は、従来のブリコート式ろ過装置と脱塩装置の組合せに比べて約5倍高く、処理対象廃液の拡大が十分図れる見通しが得られた。表2に本試験に用いた廃液の種類および放射性物質に対する除去率を示す。

また、ろ過差圧の上昇速度については、廃液のろ過比抵抗($9 \times 10^{12} \sim 2 \times 10^{14}$ m/kg)が先行ブラ

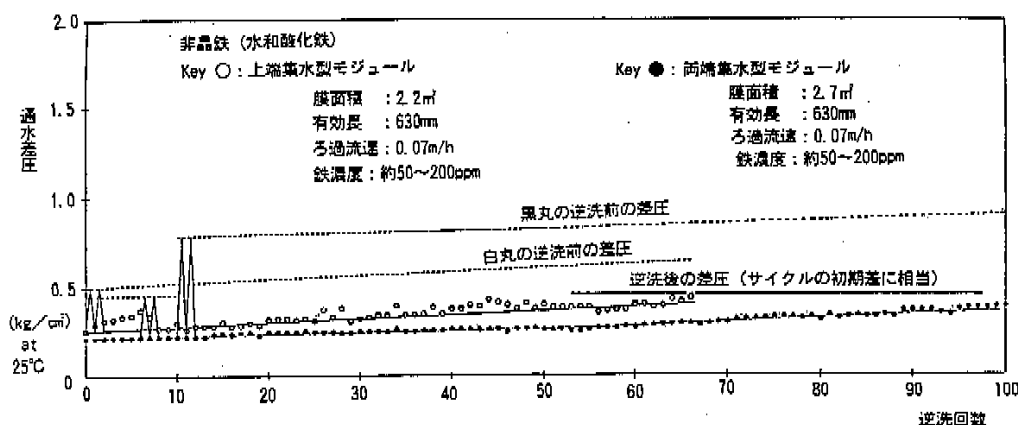


図6 難ろ過性クラッド使用によるろ過加速試験 (コールド試験)

表2 ろ過・脱塩処理の放射性物質に対する除去率

試験	試験廃液	混合率 (%)	放射性物質濃度 (Bq/cm ³)	ろ過・脱塩処理の放射性物質 に対する除去率 (DF)	
				プレコート式ろ過 装置・脱塩装置	中空糸膜フィルタ ・脱塩装置
No.1	原子炉建屋機器ドレン サンプル水	34	CRUD: 1.0×10^9	420	2200
	工空系サーベイランス水 (蒸気放出プール水)	66	Total: 1.5×10^9		
No.2	原子炉補助建屋機器ドレン サンプル水	34	CRUD: 1.5×10^9	100	420
	復水脱塩装置脱塩器スクラ ピング水	66	Total: 3.0×10^9		

ントに比べて若干高いものの、実廃液を用いた中空糸膜モジュールの通水試験の結果、特にSS濃度の高い復水脱塩装置脱塩器のスクラピング水の場合においても、スクラピング1回分の廃液(約50m³)を中空糸膜モジュールの逆洗を行わずに処理できたことから、実運用に影響する程のものではなかった。

4. 実機中空糸膜フィルタの運転実績

4.1 廃液処理方法

図7に中空糸膜フィルタ導入後の廃液処理方法を示す。

機器ドレン処理系でのろ過・脱塩処理は、廃液収集タンクおよび廃液サージタンクに集められた機器ドレン廃液と床ドレン廃液のうち、処理基準(電導度: $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、SS濃度: 50ppm以下)を満足する廃液について行う。処理基準を満足しない廃液

については、蒸発濃縮処理した後ろ過・脱塩処理を行う。機器ドレン処理系で処理した処理水は、回収基準を満足することを確認した後、復水貯蔵タンクに移送し一次冷却水として再利用する。プラントの保有水量が増加した場合には、処理水中の放射性物質の濃度が十分低いことを確認してから、復水器冷却水放水路から海に放出する。

4.2 処理対象廃液

平成元年8月から平成2年5月にかけてろ過(中空糸膜フィルタ)・脱塩処理を実施した機器ドレン廃液および床ドレン廃液の性状は、電導度が $1 \sim 30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、SS濃度が80ppm以下、放射能濃度が $1 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^2 \text{Bq}/\text{cm}^3$ である。処理廃液量は、当該期間において発生した機器ドレン廃液および床ドレン廃液の約35%に相当する。

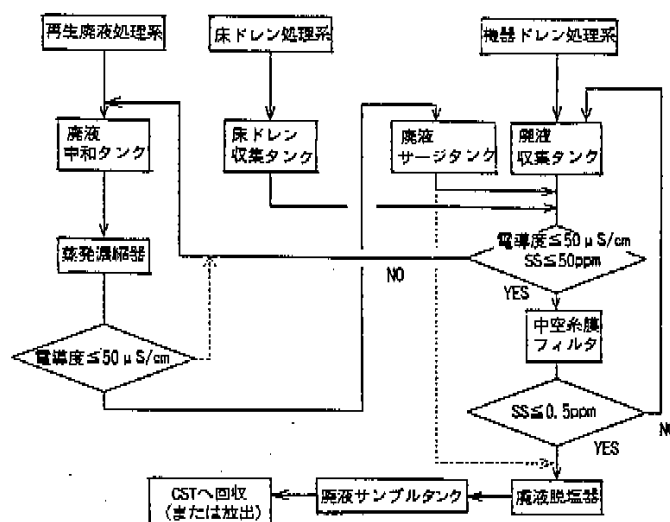


図7 中空糸膜フィルタ導入後の廃液処理方法

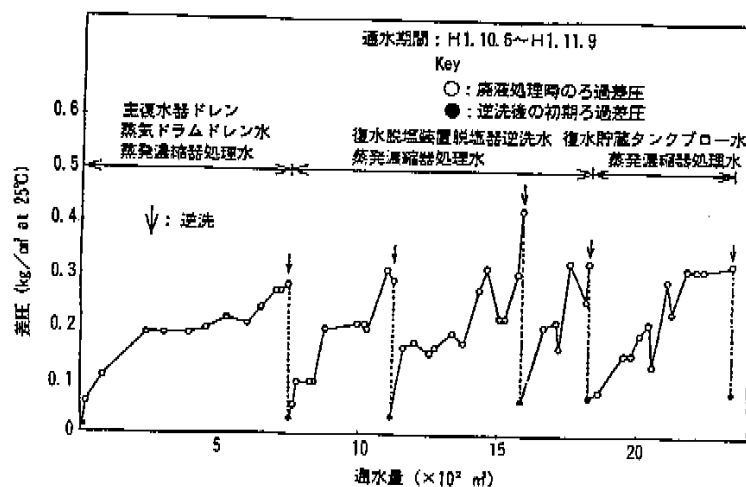


図8 中空糸膜フィルタの差圧変化

4.3 フィルタ差圧上昇

図8に中空糸膜フィルタの廃液処理に伴う差圧の上昇推移および逆洗による差圧の回復効果を示す。逆洗から逆洗の間の処理廃液量は、 $30\text{ m}^3 \sim 590\text{ m}^3$ であった。差圧の上昇速度としては、平均逆洗頻度が約3日に1回程度であったことから、運用上支障を来すものではなかった。また、急激な差圧の上昇、逆洗後の差圧復旧率の低下についてはほとんど見られていない。

4.4 中空糸膜モジュールの寿命

図9に逆洗前後のフィルタ差圧の推移を示す。中

空糸膜モジュールの寿命は、フィルタ差圧の上限值(2.0 kg/cm^2)に達する時期を試運転時の実績から推定すると約1800時間後となり、この間の延べ処理廃液量の約18000 m^3 (通水流量の $10\text{ m}^3/\text{h}$ と運転可能時間の1800時間から算出した。)と機器ドレン廃液と床ドレン廃液の年間発生量の約15000 m^3 から、発生する。

4.5 放出放射能への容与

ろ過・脱塩処理後の放射性物質の濃度は、いずれの核種についても検出限界以下の低い濃度であり、放出放射能量への容与は極めて小さい。

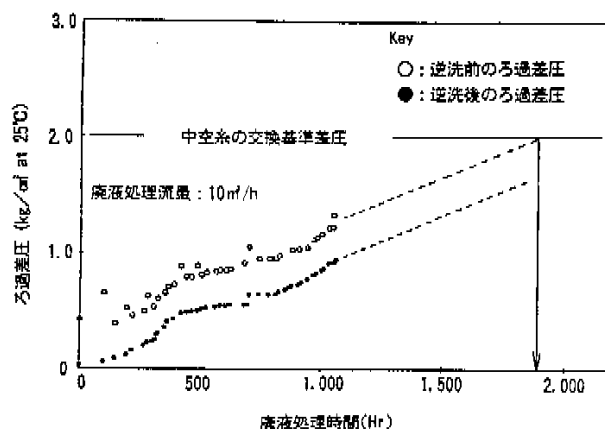


図9 逆洗前後のフィルタ差圧の推移

4.6 フィルタスラッジの発生量

従来の液体廃棄物処理系ろ過装置（プレコート式ろ過装置）からのフィルタスラッジは、大部分が機器ドレン処理系のろ過装置から発生しており、その発生量は年間約1.2m³であった。中空糸膜フィルタ導入後は、処理廃液中のSS濃度の平均値（約10ppm）と年間処理液量（約10000m³）から年間約100kg程度のスラッジが発生するものと推定され、体積換算で従来の約1/6の年間約0.2m³（スラッジ密度を0.5tas Fe₂O₃/m³とした。）に低減される見込みである。

5. おわりに

液体廃棄物処理系のろ過装置に中空糸膜フィルタを導入したことによって、フィルタスラッジの発生

量は、従来の約1/6程度に減少するものと予測される。また、機器ドレン廃液および床ドレン廃液の大部分は、ろ過・脱塩処理により処理できており、放出放射エネルギーについても十分低い値に抑えられている。

今後は、定期検査等によって発生する非定常的な廃液のろ過・脱塩処理を実施し、フィルタ差圧の変化等に問題ないことを確認するとともに、中空糸膜モジュールの長寿命化について検討することとしている。

参考文献

- 1) 大森、丸山他：中空糸膜式ろ過装置、ユバウ時報No148（1990）
- 2) 新型転換がふげん発電所他：「ふげん」の運転経験と技術成果、動燃技報No69（1989）
- 3) 新型転換がふげん発電所他：新型転換がふげん発電所の運転実績、動燃技報No50（1984）
- 4) 村松、武井他：新型転換がふげん発電所の運転管理、動燃技報No47（1983）