

濃度差発電のための下水処理水の前処理と正浸透膜ファウリングに対するその影響

九州大学大学院 学生会員 ○酒井雄介 九州大学大学院 正会員 久場隆広

1. はじめに

21世紀は“水の世紀”と言われるほど、水はより重要な資源として認識されつつある。水は他の資源に比べ地球上に豊富に存在するが、陸水はその2.5%程度にしか過ぎない。水不足が問題となっている地域では、海水淡水化施設の建設が進んでいるが、ランニングコストの負担が大きく、動力回収装置や濃度差発電によるエネルギーの回収が検討されている。濃度差発電は海水淡水化施設から排出される濃縮海水と淡水を用い、浸透圧を利用し発電するが、濃度差発電の際に用いる正浸透膜のファウリングについての研究はあまりない。

そこで本研究では、濃度差発電に利用する淡水のための下水処理水の前処理にUF膜処理、低圧RO膜処理を用い、濃縮海水および各淡水が正浸透量およびファウリングに与える影響を検討した。

2. 方法

2.1 実験装置および手順

本実験の膜モジュール(平膜テストセル)は、正浸透膜の両側に濃縮海水および淡水を供給し、浸透圧により水を淡水側から濃縮海水側に浸透させるものである。正浸透膜には芳香族ポリアミド製正浸透膜を用いた。試験に用いる正浸透膜は予め比抵抗値が $18\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 程度の純水に24時間以上浸し、さらに表面を純水で洗浄して使用した。濃縮海水および淡水の供給量は $5\sim 10\text{mL}/\text{min}$ 、室温は 25°C 、圧力は解放状態とし、7日間試験に供した。供給する海水および淡水は0, 48, 96, 144, 168時間後に採取し、浸透量、全有機炭素濃度(TOC)、全窒素(TN)、全リン(TP)、導電率(EC)、pHを測定した。一部の試料については三次元励起蛍光スペクトル(EEM)分析を行った。168時間試験に供した膜については表面観察および元素分析を行った。

2.2 分析方法

TOCの測定には全有機炭素計、ECの測定には導電率メーター、TPおよびTNの測定には携帯用多項目迅速水質分析計、EEM分析には分光蛍光光度計、表面観察および元素分析には走査型電子顕微鏡(SEM-EDX)を用いた。EEM分析を行うために、採水した試料を $0.45\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過した。実験に用いた正浸透膜の表面観察および元素分析を行うため、膜表面を純水で洗

い流し、濃度の異なるエタノール(70%, 80%, 90%, 95%, 無水の順)に浸漬して脱水した後、凍結乾燥を行った。

2.3 正浸透に用いる海水および淡水

濃度差発電は濃縮海水と淡水の間に半透膜を設置し、淡水が濃縮海水へ浸透することにより発電するしくみである。濃縮海水には海水淡水化施設からの排水を用いた。淡水として、嫌気好気活性汚泥法が行われた下水二次処理水(SE)、それをUF膜処理したもの(UE)、さらに低圧RO膜処理を行ったもの(RE)を用いた。これらの淡水は、協和機電工業株式会社が運転している濃縮海水濃度差発電実証プラント内の各処理施設から採取した。TOC, TN, TP, EC, pHの分析結果を表1に示す。濃縮海水のECはおよそ $90,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であり、海水のおよそ2倍となっている。試験に用いる各淡水は $2,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下であり、2つのECの差から、十分に正浸透が得られることが期待された。SEとUEの水質に関しては、表1の項目では大きな変化はなかった。REに関してはTOC, TN, ECがUEの1/10以下となっていた。

表1 実験に用いた淡水側供給水の水質分析結果

	TOC (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH
SE	5.7-6.3	19.4-21.3	0.2-0.3	1113-1185	7.6-7.9
UE	5.9-8.1	20.9-24.6	0.1-0.4	1274-1826	7.4-7.8
RE	0.2	0.1-0.6	0.0-0.1	63-210	6.7-7.0

3. 結果及び考察

3.1 EEM分析

平膜テストセルに供給する濃縮海水、各淡水についてEEM分析を行った。UEの0時間におけるEEM分析結果を図1に示す。励起波長/蛍光波長が250nm/450nm付近(PeakA)、320nm/400nm付近(PeakB)、335nm/435nm付近(PeakC)、495nm/515nm付近(PeakD)にピークが観測された。Baker(2002)によると、PeakA、PeakBおよびPeakCはフルボ酸・フミン酸様物質であり、PeakDは下水二次処理水特有のピークである。UF膜処理を行っていないSEのEEM分析でもほぼ同様のピークが見られ、一方、UEをさらに低圧RO膜処理したREからはほとんどピークが検出されなかった。これらの結果から、SEおよびUEを用いた正浸透膜でフルボ酸・フミン酸様物質に由来するファウリングが発生し、REを用いた正浸透膜ではほとんど

ファウリングが発生しないと考えられた。また、濃縮海水の EEM 分析ではピークは検出されなかった。

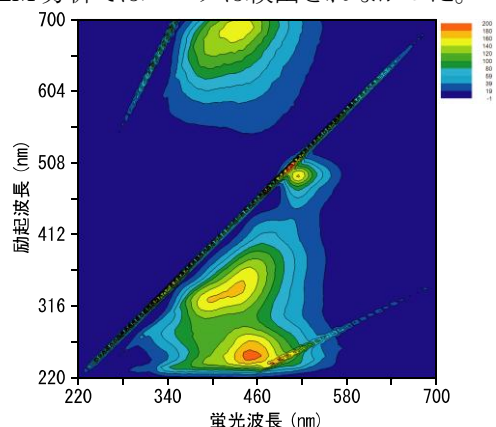


図1 UEの0時間におけるEEM分析結果

3.2 浸透量

0時間の浸透量を100とした浸透量の変化を表2に示す。REに比べると、UEおよびSEでの浸透量低下が目立っており、UEおよびSEを淡水に用いた膜でのファウリングがより大きく発生していた。この結果は、表1に示した水質分析結果、EEMの分析結果ともほぼ一致している。これらのことから、本実験では逆洗等の対策によるファウリング防止効果が考慮されていないものの、濃度差発電に用いる下水二次処理水は、UF膜処理より高度の処理を行う必要があると考えられる。ただし、今回用いた低圧RO膜処理は表1に示したような良好な水質が得られるものの高コストであるため、発電電力量を消費電力量が上回ってしまう可能性がある。

表2 0時間の浸透量を100とした時の浸透量変化

	0時間	48時間	96時間	144時間	168時間
SE	100.0	8.4	4.8	3.1	1.0
UE	100.0	39.1	8.6	12.3	5.9
RE	100.0	116.0	100.3	26.9	80.3

3.3 SEM-EDX 分析結果

図2に、淡水にUEを用いた正浸透膜の淡水側および濃縮海水側のSEM-EDXによる表面観察結果および元素分析結果を示す。淡水側では、膜表面に生物膜は確認されなかったものの、若干の付着物が観測された。元素分析の結果、未使用膜に比べ、硫黄の値が非常に高くなっていたが、これがファウリングに直接関係しているかどうかは不明であった。

濃縮海水側では画像からもはっきりとファウリング層が見られ、Na, Mg, Caなど、海水由来の元素が多く検出された。濃縮海水のEEM分析においてピークが検出されていないことから、濃縮海水側でのファウリングは海水に由来する無機物であると考えられる。海水側のファウ

リングは、表2に示した浸透量が、SEおよびUEを用いた系に比べREの系の方が多かったことから、淡水側のファウリングに比べ影響が少ないと考えられる。しかしながら、水質が良好なREを用いた系についても浸透量の低下が見られており、濃縮海水側の洗浄等、何らかのファウリング防止策の必要性が示唆された。

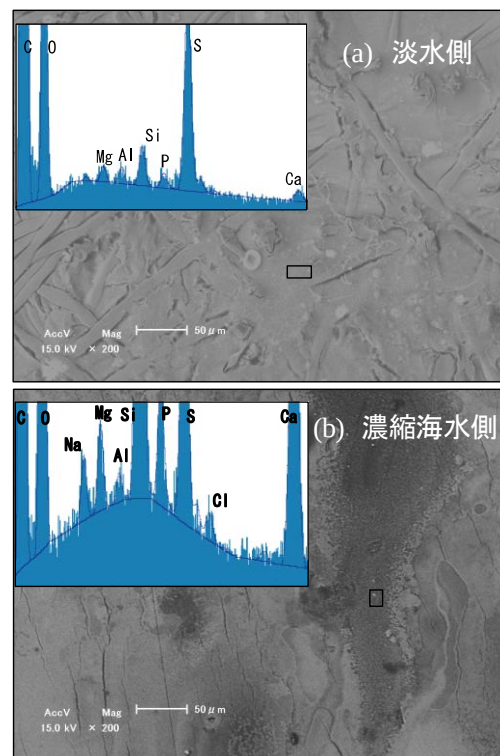


図2 淡水にUEを用いた正浸透試験7日目のSEM-EDXによる膜表面画像および元素分析結果

4. 結論

- 1)濃度差発電に用いる下水二次処理水は、UF膜処理より高度の処理を行う必要があった。
- 2)濃縮海水側のファウリングは有機物由来のものではなく、Na, Mg, Caなど無機物に由来するものであった。淡水側に比べるとファウリングの影響は少ないものの正浸透量の低下が見られ、濃縮海水側の洗浄等、何らかのファウリング防止策の必要性が示唆された。

参考文献

Baker, A (2002) Fluorescence excitation-emission matrix characterization of river waters impacted by a tissue mill effluent, Environmental Science and Technology, 36, pp.1377-1382

謝辞

本研究は、「NEDO 平成21年度第2回イノベーション実用化助成事業」の支援を受けた協和機電工業株式会社と共同研究を実施したものである。ここに、記して謝意を表します。