

## 膜分離活性汚泥法における膜差圧急上昇予測モデルの開発

○金子 弘昌、船津 公人

東京大学大学院工学系研究科(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

### 【緒言】

下水処理や工場排水処理などの水処理分野において、排水を処理し浄化するため membrane bioreactor (MBR) が広く使用されている。MBR 法とは、活性汚泥という有機物を分解する機能を持つ微生物に排水中の汚濁物質を代謝・消費させ、その後膜によって処理水と活性汚泥とを分離する方法である。MBR を住宅地や工場などへ分散設置することで、排水の原点処理が達成されるだけでなく処理水を有効活用しやすい社会の実現が可能となる。

MBR では膜を用いることですべての固形物の流出を阻止できるが、活性汚泥・難溶性成分・高分子の溶質・コロイド等のファウラントが膜細孔に詰まったり膜に堆積したりする膜のファウリングという問題を抱えている。例えば MBR を定流量過運転した場合、このファウリングによる膜抵抗の上昇に伴い膜差圧 (transmembrane pressure, TMP) が上昇してしまう。高い TMP を達成するには多くのエネルギーが必要となるため事前にファウラントを除去しなければならず、そのための薬品洗浄を定期的に行わなければならない。

頻繁な薬品洗浄にはコストがかかるため適切な時期に洗浄を実施する必要がある。そのため MBR においては長期的にファウリングを予測しなければならない。ファウリングの予測とは定流量過運転の場合には膜差圧を予測することを意味する。上述した分散型 MBR を達成するためには無人運転で MBR を遠隔管理する必要があり、遠隔地における薬品洗浄時期を計画するためには将来の TMP を予測しなければならない。

TMP の長期予測を困難にしている要因の一つが TMP jump [1] である。TMP jump とは MBR の長期運転後における TMP の急上昇である。もちろん将来の TMP を予測することも重要であるが、実際の MBR 運転を考えた場合には TMP jump が起こる時期を予測することも重要といえる。TMP jump の時期を予測できれば、TMP jump の前に薬品洗浄を行うスケジュールの作成ができる。さらに TMP jump を予測するモデルを活用することで TMP jump の起きない実験条件および水質を検討することが可能となる。

そこで本研究では TMP jump する時期を精度良く予測することを目的とした。ろ過の式・ケーキろ過の式・それ以下なら不可逆ファウリングが起こらない flux である critical flux の概念などから TMP jump の有無を判定する物理式を導出し、MBR における運転データを活用して物理式に基づく統計的な TMP jump 判定モデルを構築する。今回は論文から得られた様々な種類の MBR において測定されたデータを用いて解析を行い本手法の有効性を示す。

### 【手法】

ろ過の式・ケーキろ過の式・critical flux の概念などから TMP jump の判定式は以下のように表される [2]。

$$TMP_t - \mu_t J_{\text{crit}} \left( R_m + A_0 (at + b) \frac{J_{\text{crit}}}{V_t} + R_{\text{other},t} \right) \geq 0 \quad (1)$$

t は時間、 $\mu$  は粘度、 $J_{\text{crit}}$  は critical flux、 $R_m$  は膜の抵抗、 $R_{\text{other}}$  は水質に由来する抵抗、V は処理流量、a、b は定数である。式(1)は t、V、TMP、その他水質に関連する変数の非線形関数である。式(1)を解析的に解くことは困難であるため、MBR パラメータと TMP jump の有無との間で統計モデル (TMP jump 判定モデル) を構築する。TMP jump 判定モデルの概念図を図 1 に示す。入力変数は t、V、TMP、その他の MBR パラメータであり、出力変数は TMP jump するかどうかを表現するラベルである。TMP jump 前のデータを 1、TMP jump 後のデータを-1 とラベリングを行い、1 か-1 を判定する support vector machine (SVM) [3] モデルを構築する。

TMP jump を予測する際、t については予測したい時間、V については将来の設定値、TMP については将来の TMP の予測値を TMP jump 判定モデルに入力する。TMP の予測値について、ケーキろ過を仮定した場合

は初期の TMP が時刻の一次関数で表わされるため、最初の数時間または数日のデータを用いて時間と TMP との間の直線の傾きと切片を決定する。将来の TMP をその直線を用いて予測し、その予測値を TMP jump 判定モデルへの入力値として使用する。以上により対象とする時刻において TMP jump するかどうかを予測できる。

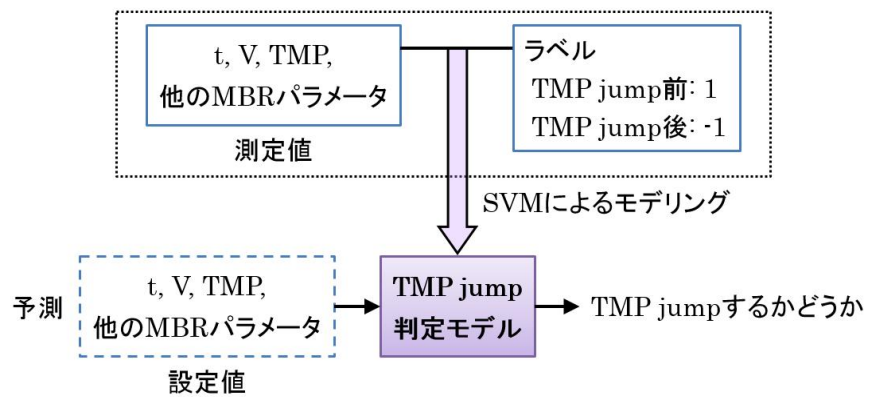


図 1. TMP jump 判定モデル

### 【結果と考察】

論文から得られた様々な MBR において測定された運転データを用いて解析を行った。表 1 に膜の種類・膜材質ごとの論文数・バッチ数・入力変数の数を示す。なお 1 バッチのデータは運転開始から膜洗浄までのデータである。論文ごとに流入水、MBR 運転条件等が異なっている。それぞれのデータセットを用いて TMP jump 判定モデル

表 1. モデル構築と予測の結果

膜の種類 膜材質	平膜			中空糸膜	
	PVDF	PE	PES	PVDF	PE
論文数	12	2	3	8	13
バッチ数	26	5	6	13	22
入力変数の数	11	7	7	7	7
正解率 [%]	95.6	99.9	93.5	90.4	91.6
*正解率 cv [%]	94.4	99.4	83.0	91.2	88.0

\* 5-fold cross validation の結果

を構築した。表 1 に TMP jump 判定の正解率を示す。すべての膜において 90% 以上の高い正解率であることが分かる。また正解率 cv は予測性を表わす指標である。各モデルの予測精度も良好であることが確認された。

### 【結言】

本研究では各種 MBR パラメータから将来の TMP jump を予測するモデルの開発を行った。論文データを用いたケーススタディにより、提案手法を用いることで適切に TMP jump を予測可能であることを確認した。我々は MBR における TMP を長期的に精度良く予測するモデルの開発も行っており、今回提案した TMP jump 判定モデルと組み合わせて活用することで最適な薬品洗浄時期を検討できるだけでなく TMP の上昇を穏やかにする運転コントロールの検討が可能となる [4]。これらのモデルにより分散型 MBR における各 MBR パラメータの値を測定してその情報を遠隔地にある管理室に送ることで、管理室で対象の MBR を監視してその結果を踏まえて薬品洗浄時期を決定したり MBR を適切にコントロールしたりすることが可能となる。これにより分散型 MBR の無人管理が達成される。

### 【謝辞】

本研究は科学技術振興事業団「JST」の戦略的基礎研究推進事業「CREST」における研究領域「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」の研究課題「地域水資源利用システムを構築するための Integrated Intelligent Satellite System (IISS) の適用」の支援を受けたものである。ここに謝意を示す。

### 【参考文献】

- [1] Guglielmi G, Chiarani D, Judd SJ, Andreottola G. *J. Membrane Sci.* 2004;229:171–177.
- [2] Kaneko H, Funatsu K. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 2013;121:66–74.
- [3] Vapnik V.N. *The Nature of Statistical Learning Theory, second ed., Springer, New York* (1999).
- [4] Kaneko H, Funatsu K. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2012;51:9679–9686.