諸工業における精密濾過法の利用の現状

——水 処 理——

岡崎 稔・三浦邦夫

日本メムテック株式会社 ☎ 223 横浜市港北区茅ヶ崎南 3-1-16

Current Application of Microfiltration Process for Industrial Purpose—Water Treatment

Minoru Okazaki, Kunio Miura

Memtec Japan Limited, 3-1-16 Chigasaki-Minami Kohoku-ku Yokohama-City

The continuous microfiltration in the paper is a 0.2 micrometer hollow fiber filter that automatically backwashes with air at either preset time interval or pressure drop.

The CMF is operated in direct flow mode or cross blow mode at a low pressure producing a high flux. Surface river water, secondary sewage water and another process water can be treated in higher quality by the CMF, compared with conventional water treatment process.

Key words : Water Treatment, Microfiltration, Hollow Filter, Membrane

1. はじめに

精密濾過法は大きく飛躍する転機を迎えている。それは、その用途がこれまでのハイテク産業からその他産業だけではなく、上水や下水の再利用のような大量処理の分野にまで広く適用され始めたからである。

厚生省は浄水場に昔から採用されている従来の凝集沈殿＝砂濾過法に代わって、より良質の水をつくるため膜分離技術を利用する MAC21 と称する研究プロジェクトを発足させている。その中で精密濾過法の高性能が確認されつつあり、浄水場で稼働する日は近い。

一方、東京都では下水処理水を親水公園の用水に利用するため、精密濾過－逆浸透法の組み合わせ膜装置が落合下水処理場に設置され本 4 月末から順調に運転中である。

精密濾過の市場規模は四百億～六百億円ともいわれているが、大量処理分野にまで市場拡大するとなれば、これまでの限外濾過や逆浸透膜の華やかな動きにかくれて地味な扱いに甘んじていたのが、漸く日の当る場所に踊り出たといえる。このような変化はいわば連鎖反応のように市場が大幅に拡大すると同時に性能や技術の向上に大きなインパクトを与えてえている。

本文では、半導体工業における超純水製造のファインル、ユースポイントでの濾過のような従来からの用途については割愛し、最近脚光を浴びている逆洗再生可能な精密濾過法である、ガス逆洗式技術の概要とその水処理分野への適用例を紹介する。

図1 ガスバックウォッシュ効果例

図3 逆洗時の中空糸膜の状態

図2 濾過・逆洗モード図

2. ガス逆洗式精密濾過装置

2.1 ガス逆洗とは

本システム他方式と異なる最大の特徴は、目詰まりを生じた膜を高圧ガスを用いて逆洗する、自動逆洗機構にある。

通常、膜装置は濾過を継続するにつれて、原液中に含まれている種々の懸濁物質により膜の細孔が閉塞して、フラックスの低下、差圧の上昇は避けられない。その再生策として一般的には濾過液による逆洗や、空気による膜表面洗浄などが応用されているものの、必ずしもその効果は十分でなく、低フラックス運転を余儀なくされているものが少なくない。

逆洗操作法の1つであるガス逆洗方式は、600 kPaの高圧ガス（水処理用途には空気、ワイン等の食品の清澄化には窒素ガスまたは炭酸ガスを使用）を膜モジュール内に一時的に保持した後、シェル側の弁を急速に開き大気圧に戻すことにより、膜の内側から外壁に向かって瞬間的に逆流させ、膜の外壁に堆積した物質や細孔内の目詰まり物質を瞬時に取り除く、全く新しい逆洗方法である。図1にガスバックウォッシュの効果例を示す。

また、使用している中空糸膜は伸縮性に富んでいるので、内側から高圧ガスを加えると中空糸は膨張し、目詰まり物質を勢よく吹き飛ばすことになる。ここで大事なことは、逆洗の始まる最初の段階で膜の内側に溜って

いた密度の小さな600 kPaのガスで、細孔中の密度の大きな液体を媒体にして、目詰まり物質を吹き飛ばす現象を起こしている点である。このために、小さなエネルギーを瞬時に使うことで最大の効果を発揮することとなる。

そして、剥離された物質は原液を流すことにより、逆洗排液（濃縮液）として系外に排出され、膜は急速に収縮し元に戻る。しかしこのままの状態では再度通水を行っても、細孔中に気泡が溜まった状態（疎水化）のために、液体の透過は限られたものになり、満足な濾過は行われない。このため、当システムでは、この気泡を追いつく（親水化）ためにリウェットと呼ぶ操作を行っている。

図2には濾過・逆洗モードを、図3には逆洗時に中空糸膜が膨張し、目詰まり物質を吹き飛ばしている状態を示す。

濾過中の逆洗の間隔は原液中の懸濁物質の性状、濃度等により異なるが概ね15分から60分程度である。

2.2 中空糸膜モジュール

本システムはポリプロピレン製の中空糸膜を使った外圧式で、外径約0.6 mmの中空糸をモジュールの中に数千本から1万本程度収めている。表1に膜モジュールの仕様を示す。

膜モジュールは現在3種類あり、M1型、M2型はハ

図 1. MEMCOR 膜モジュールの仕様

項 目		仕 様		
型 番		M1	M2	M10
有 効 膜 面 積 (m ²)		1	2	10
通 水 方 式		外 圧 型		
ハウジング	材 質	ABS		ナイロン/SUS316
	シール材	ポリウレタン		
寸 法 (mm)		108W×570H	108W×970H	180W×1748H
膜 取 替 方 法		一 体		サブモジュール
常 用 pH 範 囲		0.5~13.5		2.5~13.5
純 水 透 過 速 度 (m ³ /m ² ・day, 100 kPa, 25°C)		65	27	17
重 量 (kg)		2.6	3.0	18.6

M1型モジュール M2型モジュール M10型モジュール
図 4 MEMCOR 膜モジュールの外観

10 m² Module Arrays (2 Banks of 3 Modules Each shown)

図 5 M10 型モジュールアレイ

ウジングと中空糸束が一体構造となっているが、M10型はサブモジュールと呼ぶ中空糸束部分のみを取り出して、交換できる構造となっている。図 4 に各膜モジュールの外観を示す。

それぞれの膜モジュールは上下対象構造となっており、原液が流れるシェル側と透過水が出てくるルーメン側に、それぞれ 4 つの出入口が設けられている。M10型は原液管内に透過水管が入った二重管式になっている。

2.3 システムの構成

膜モジュールを多本数使用する場合は、マニホールド方式のため、連結が容易であり任意の数のモジュールをシステムの中に組み込むことができる。図 5 に M10 型

膜モジュールを 6 本組んだアレイを示す。また、装置は全てスキッドマウント化されており、処理容量に応じて標準タイプのスキッドを単位として膜モジュールを任意の数に連結することも可能である。

表 2 に標準型 13 タイプのスキッドの仕様を示す。また、図 6 に 60M10 型、図 7 と図 8 に 900M10 型スキッドの外観図を示す。

このように膜モジュール 2 本の小容量から 90 本の大容量まで幅広く対応できるように設計されており、据え付けに必要な設置面積も小さく、極めてコンパクトである。

例えば、河川水を処理して飲料水とするための設備として、900M10 型を設置した場合、その設置面積当りの

表 2. 標準型 MEMCOR システム仕様

項 目	仕 様				
型 番	20/30M10	40/60M10	120/160/200M10	240/300/360/420M10	600/900M10
モジュール型番	M10 型				
モジュール本数(本)	2/3	4/6	12/16/20	24/30/36/42	60/90
総有効膜面積 (m ²)	20/30	40/60	120/160/200	240/300/360/420	600/900
スキッド寸法 (m)	1.0W×1.5L×1.9H	1.2W×1.9L×2.0H	1.6W×4.0L×2.3H	2.2W×5.4L×2.3H	2.3W×5.8L×2.8H
重 量 (空) (ton)	0.9/1.0	1.2/1.3	1.9/2.1/2.2	3.0/3.2/3.3/3.5	4.2/4.8
主 要 付 属 機 器	操作盤, ポンプ, 原水槽, 弁, 配管		操作盤, ポンプ, 弁, 配管		操作盤, 弁, 配管

図 6 60M10 型外観図

図 7 900M10 型外観図

図 8 900M10 スキッド

図 9 マニホールド付き大型設備の配列図

濾過速度は約 170 m/day となり、従来型の急速砂濾過器と概ね同じ面積で凝集沈殿槽＋急速砂濾過器の機能以上の性能をもつことが出来る。

図 10 中空糸膜完全性試験の概念図

図 12 原水・濾過水の分析値 (全大腸菌群数)

また、処理容量が日量数万トン規模の設備の場合は、図 9 に示すような 900M10 型スキッドを多数マニホールドで連結することにより対応する。このようにすれば 20 基で日量 5 万トンの浄水場が出来上がることになる。

通常、膜設備の通液方式はクロスフロー方式が採用されている。これは膜面に平行な流れを高めて、懸濁物質による膜面でのケーキ層の形成を抑え、濃度分極現象を極力少なくして、透過流束の安定維持を目的としている。

ほとんどの用途でダイレクトフロー方式で運転できるこの方式は、エネルギー消費量の点でクロスフロー方式に比べ大幅に有利となる。

運転操作圧力は濾過差圧が低いため、100 kPa 以下が可能で、10 m 程度のヘッド差を有するような所では、膜設備への供給ポンプが不要となる。また、この事は大容量処理にも有利である。

膜処理技術で大事なことは、膜モジュールあるいは、膜に何らかのトラブルが発生した場合、それを迅速かつ的確に検出できるシステムにしておくことである。

図 11 原水・濾過水の分析値 (濁度)

表 3. MEMCOR 中空糸膜の基本特性

項 目	仕 様
中 空 糸 膜 素 材	ポリプロピレン
相 当 孔 径 (μm)	0.2 (99.9% カット)
膜 寸 法 (μm)	外形 620/内径 320
常用 仕 様 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	2~40
常用 濾 過 差 圧 (kPa)	100 以下
完全性試験圧力 (kPa)	90
逆洗用空気圧力 (kPa)	600

1 本の中空糸膜モジュールには数千～数万本の中空糸が入っており、膜素材の経時的劣化による膜面の損傷や破断が起こることは避けられない。また、リークした細菌類をリアルタイムに計測することは難しく、濁度や微粒子の測定値で検知しようとすることも現実的ではない。

そこで、当システムには「メンブレンテスト」と称する医薬製造設備では、日常業務として行われている完全性試験と呼ばれる物理的手法による、膜状態の監視システムを備えている。これは、小・中型設備ではバブルポイント法を、大型設備ではディフュージョンフロー法を応用したもので、いつでも測定が可能で、測定に要する時間も 1 分程度と非常に短く、手軽で確実な測定方法である。図 10 にバブルポイント法の概念図を示す。

2.4 膜性能

本システムに使われている中空糸膜の素材はポリプロピレンと、最近開発された PVDF の 2 種類である。表 3 にポリプロピレン製中空糸膜の基本特性を示す。ポリ

図 16 原水・濾過水の分析値 (SS)

図 17 原水・濾過水の分析値 (BOD)

図 18 MEMBIO システム水質分析値 (SS)

図 19 MEMBIO システム水質分析値 (BOD)

図 20 ナチュラルミネラルウォーターの製造システム

フォルニア州サンノゼに、最大処理水量 5MGPD (19,000 m³/day) の本システムを建設中である。図 13 に設備の外観を示す。

3.2 下水二次処理水の高度処理

近年、水辺の利用に関心が増し、親水性という観点から見直されている。水をめぐる新たな環境の創造、保全または改善の事業は各地で推進される中で、これら事業の水源として下水の再利用が注目され始めている。

東京都では外観や臭いといった感覚的な指標と共に、

安全性の面からも高度な水質の得られる MF-RO の二段膜法の研究開発を行った⁷⁾。この結果によると、MF 膜の透過流束は 2.5 m/d (一定) で、SS、大腸菌群数に対し優れた除去性能を示し、FI は常に 4 以下となっている。

都では、この結果を踏まえ、今年 4 月末に落合下水処理場に実用機を設置 (図 14) し、親水用水用として運転している。

下水二次処理水を対象とした、別の報告⁸⁾では、運転コストの試算を行っており、それによると凝集～MF 膜で現在 11 円/m³ となるが、最適設計と大規模化により、さらに低減できることを述べている。

本処理方式、つまり MF 膜と RO 膜を組み合わせた二段膜法は、単に下水二次処理水の親水用水への再利用のみならず、ゼロディスチャージプロセスの中で、重要な役割を演じるものである。今回の実用化によって、一層の飛躍が期待される。

オーストラリアでは、既設の下水処理場からの処理水の再利用や高度処理後の放流を目的に、各地で精密濾過

膜装置が採用され、稼働しているので紹介する。

代表的な例として、ブルーマウンテン国立公園内の下水処理場で1990年9月から稼働している処理容量3,000 m³/dの設備がある。図15にその配置図を示す。

本設備は放流先の河川の下流に浄水の取水源があり、そのために大腸菌群は無論のこと一般細菌の除菌を目的に設置された。設備は1基120 m²のユニットが8基で、ダイレクトフロー方式で運転している。図16, 17に水質分析結果を示す。

また、Cronulla 下水処理場（処理水量40,000 m³/d, 処理方式：一次処理のみ）では、Sydney Water Boardと共同で、MEMBIOTMシステム（生物膜濾過+MF膜濾過）の実証試験を行っている。試験の目的は処理水再利用のためのコンパクトで経済的なシステムを確立することである。この設備の特徴は好気性生物膜濾過器内で、溶解性の有機物質を非溶解性の生物体に交換し、最終的にコロイド粒子を含む微生物、細菌をMF膜で除去する機構で、それぞれの機能を最大限に活用した所にある。水質分析結果を図18, 19に示す。

3.3 ナチュラルミネラルウォーターの製造

生活水準の向上と都市部における環境の悪化に伴い「おいしくて安全な水が飲みたい」との要求が増え、ミネラルウォーターの消費量が飛躍的に増えている。

ナチュラルミネラルウォーターの製造方法は数段のカートリッジフィルターで濾過し、その後加熱するのが一般的である。しかし、最近ではより美味しく味わうために、無加熱（生詰め）としている製品もあり、この場合は、特に除菌に配慮する必要がある。

本システムを組み込んだ、大型のナチュラルミネラルウォーターの製造装置が山梨県内で稼働中で、ペットボトルを約2百万本/月製造している。

この設備の特徴は、前段のシステムで一般細菌を含む懸濁物質のほとんどを除去し、後段のカートリッジ型安全フィルターへの負荷を極端に少なくしている点にある。これにより、運転経費もカートリッジフィルターのみ設備に比べて約1/6と非常に安くなっている。図19に本システムを組み込んだ、ナチュラルミネラルウォーター製造装置のフローシートを示す。

3.4 海水の無菌化、クロレラの濃縮

栽培漁業において、稚貝・稚魚の幼生飼育、珪藻の培養などに無菌海水が使われている。海水の無菌化には従

来、加熱殺菌法が多く用いられてきたが、規模が大きくなると設備費、運転経費共にかなりすぎるのが問題となっている。

このため、本システムによる無菌海水製造設備が実用化され、ヒラメ、伊勢エビの養殖等にその威力を発揮している。

また、クロレラや珪藻の濃縮にも従来の遠心分離法に代えて実用化されている。濃縮倍率は数十倍～数百倍が可能である。

3.5 その他の用途

医薬品工業、発酵工業を含めた化学工業に関連した用途として、①医薬品工業における無菌水の製造、②工業用水の清澄化、③排水中の有価物の回収（触媒の回収など）、④各種RO膜設備の前処理、⑤バイオプロセスにおける各種菌体の分離・濃縮、⑥純水の除菌・除微粒子等の分野がある。

食品工業においては、ワイン、清酒の清澄濾過および発酵糖液の菌体分離等に使われている。いずれも珪藻土フィルターやペーパーフィルターに比べ、操作が簡単で自動化ができ、濾過性能も高いということで採用されている。ワイン用だけでも約20件の納入実績がある。

4. おわりに

以上、「ガスバックウォッシュ」という全く新しい発想の基に開発された本システムについて紹介した。このシステムは、いま始まったばかりの浄水処理や下水の高度処理等の低濃度大量処理などを含めて、水処理分野の幅広い用途に適用されている。従来の膜処理技術では適用が困難と思われていたような用途においても、適用の可能性を与えてくれるものと確信している。

参考文献

- 1) P. Thebault, J. Lbersillon : T. S. M.-L'EAU P253~260, (MAI 1990)
- 2) 浄水プロセス協会：MAC21パンフレット
- 3) 土屋博嗣ら：第44回全国水道研究発表会講演集, P 309~311, (1993)
- 4) 大熊那夫紀ら：第44回全国水道研究発表会講演集, P 324~326, (1993)
- 5) Vincent P. O. and David Y. P. : Continuous Microfiltration of Surface Water, AMERICAN WATER WORKS ASSO., Membrane Processes Conference Florida, (3. 1991)

6) City of Winchester Department of Public Utilities : Fay Spring Microfiltration Pilot Study Report, (Aug. 1992)

441~443, (1992)

8) 米川均ら : 第 30 回下水道研究発表会講演集, P 560~562, (1993)

7) 鈴木義明ら : 第 29 回下水道研究発表会講演集, P

(受付 1993 年 7 月 30 日)

<学会だより>

電気泳動と粒径測定に関する実践講座

主 催 : 日本油化学協会界面化学部会界面電気測定法委員会

協 賛 : 日本化学会コロイドおよび界面化学部会 色材協会 高分子学会 日本薬学会 日本生物物理学会 日本膜学会 日本材料学会 触媒学会 日本表面科学会 化学工学協会 電気化学協会 以上を予定

日 時 : 平成 5 年 12 月 14 日(火) 9 時 15 分~17 時

会 場 : 日本化学会 化学会館ホール 東京都千代田区神田駿河台 1-5 (電話 03-3292-0120)

[交通] JR 線, 地下鉄丸の内線 御茶の水駅下車, 徒歩 4~5 分.

プログラム :

1. 講演会

1) 柔らかい粒子—電気泳動からわかる柔らかさと粒径の変化/東京理科大学薬学部

大島広行氏

2) ミセルの電気泳動—動的光散乱法でどこまでわかるか/名古屋大学理学部 今栄東

洋子氏

3) 電気泳動法の新局面—キャピラリー電気泳動/大阪大学蛋白質研究所 高木俊夫氏

4) 濃厚分散系の電気泳動—濃厚系における粒径変化がモニターできるか/筑波大学化

学系 古澤邦夫氏

2. 講演者による相談コーナー

3. メーカーによる機器展示コーナー

参加費 : (テキスト代を含む) 当日会場でお支払いください.

日本油化学協会正会員 4,000 円 協賛学会正会員 5,000 円

学生 2,000 円 非会員 8,000 円

申込締切 : 11 月 25 日(木), 定員 110 名になり次第締め切ります.

申込方法 : 申込書(申込先へ請求)にご記入の上, 郵送または FAX でお申し込みください.

申込先 : ☎ 103 東京都中央区日本橋 3-13-11 油脂工業会館 7 階 日本油化学協会

電話 03-3271-7463~4 FAX 03-3271-7464