

コンパクトな膜処理システム “FM モジュールシステム” の紹介

Introduction of a compact membrane module "FM module"



(技)第2研究開発部第4研究室
島田 光重
Mitsushige Shimada
松田 勉
Tsutomu Matsuda

当社は ROCHEM-UF Systeme 社（ドイツ）が製造するユニークな平膜モジュール“FM モジュール”の独占販売契約を締結した。FM モジュールは UF 膜から RO 膜まで処理目的に応じて膜種を選定できる。また封筒状平膜を多層に積層した構造となっているため、原水性状にあわせて膜間流路幅の変更が可能である。このような構造を有するため従来の膜モジュールに比べて耐 SS 性に優れており、前処理の大幅な簡略化を可能としたコンパクトかつメンテナンスが容易なシステムにすることができる。そのため省スペースを必要とする船舶の排水処理や SS 分が比較的多い排水処理に多くの実績を有する。さらに、FM モジュールと活性汚泥処理とを組み合わせた膜活性汚泥処理システムは、平膜でありながら逆圧洗浄が可能であることから、高濃度有機排水の高負荷活性汚泥処理が可能である。また外置型であるため、洗浄、メンテナンス性に優れる利点も有する。

Shinko Pantec has contracted exclusive distribution agreement of FM module with ROCHEM-UF systeme GmbH in Germany. FM module consists of flat sheet membrane cushions such like an envelope and the membrane type can be selected among from various UF to RO membranes to meet a treatment specification. The module is built by putting membrane cushion upon lower one physically so that the flow path (clearance between membrane cushions) can be adjusted for a various wastewater characteristics. This structure makes it possible to have more flexibility against water containing suspended solid compared with that of another conventional membrane module. Because of this, it is possible to eliminate pre-treatment facility such as sand filter and therefore this system can be built compact and maintenance reducing facility. There are many commercial facilities in the world, which require a small footprint and maintenance free such as gray water treatment in ship and wastewater containing suspended solid in a various industrial fields. Furthermore, back washing procedure from permeate side is available in spite of flat sheet membrane, so that an application of FM module to membrane bioreactor system which treats high concentration of organic wastewater is possible. The module also has great advantage both in maintenance and chemical cleaning since membrane module is set outside from a bioreactor.

Key Words :

膜 分 離	Membrane separation (filtration)
平 膜	Flat sheet membrane
船舶雑排水処理	Gray water, Black water
排 水 処 理	Waste water treatment
膜 活 性 汚 泥 法	Membrane bioreactor

まえがき

膜分離技術は、従来の分離技術よりも精密な分離性能、簡単な処理フロー、低いエネルギーコスト等の優れた特長を有しているため、浄水処理、用水処理、排水処理の他、さまざまな分離プロセスへ適用されている。しかし従来からの膜分離法では、膜モジュール内の閉塞やファウリングを防止しながら安定運転をおこなうために、凝集沈殿や砂ろ過に代表されるような大がかりな前処理を必要とするシステムが多く、必ずしも競争力があるシステムになっていない例が多い。

当社では、このような膜分離技術の問題を克服する ROCHEM-UF Systeme 社（ドイツ）が開発した平膜モジュール“FM モジュール”の販売提携契約を締結した。FM モジュールは封筒状平膜を多層に積層したユニークな構造となっている。処理目的に応じて限外ろ過（UF）膜から逆浸透（RO）膜に至る膜種を選定可能であると同時に、原水性状にあわせて膜間流路幅の変更も可能である。そのため、耐SS性に優れるという利点を持ち、しかも従来の膜分離装置に較べて前処理を大幅に簡略化できるため、コンパクトかつメンテナンスが容易なシステムにすることができる。

本稿では、FM モジュールの構造、FM モジュールシステムの概要と特長ならびにその適用性について解説する。

1. FM モジュールの構造

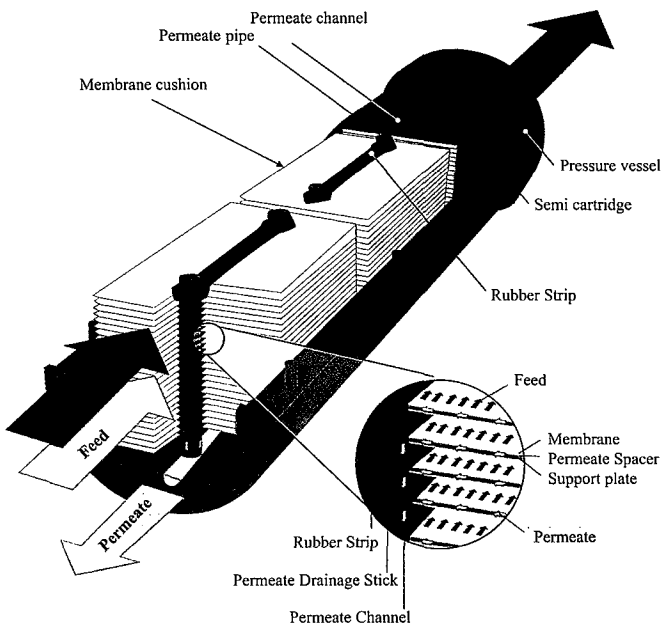
FM モジュールの構造図を第1図に、外観写真を写真1にそれぞれ示す。本モジュールは、標準的に5個あるいは10個のメンブレンカセットが直列に接続され、圧力容器内に収納されている。メンブレンカセットは、メンブレンクッションがスペーサーゴムと透過管を介して上下に重ねられ、2つの半割シェルの中に収められる。メンブレンクッションは、2枚のメンブレン、2枚の処理水スペーサー、および、1枚の支持板からなり、全周はシールされている。シールには超音波溶着が用いられている。各部の詳細について下記に示す。

1) メンブレンクッション（メンブレン、処理水スペーサー、支持板）

メンブレンクッションの構造図を第2図に示す。ABS樹脂製支持板の両面に、ポリエチレン製処理水スペーサー、平膜を各1枚ずつ重ね合わせ、外周部をシールしている。メンブレンクッションは100 mm×200 mmの矩形をしており、処理水流路用にφ10 mm 穴が2カ所設けられている。1枚あたり0.032 m²のろ過面積を有する。

2) スペーサーゴム

原水流路幅の確保とシール機能の2つの役割を果たす。スペーサーゴムの厚さは1.4 mm～3.0 mmで可変可能である。処理内容・原水性状により厚みを変更して原水流路幅を変更する。形状は、



第1図 FM モジュール構造図
Fig. 1 Schematic diagrams of FM module

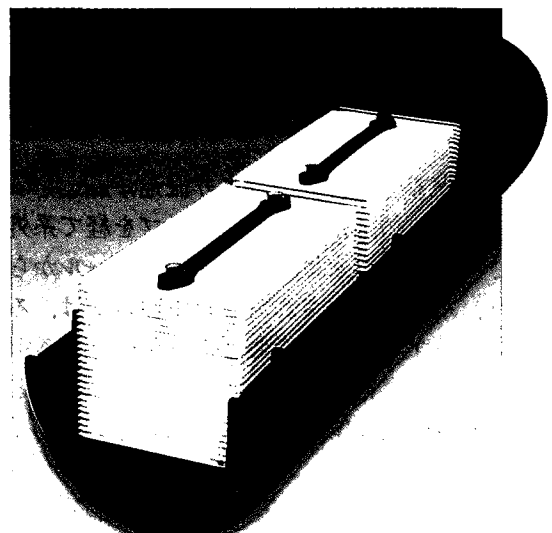


写真1 FM モジュール外観写真
Photo 1 Photograph of FM module

デッドスペースを小さくするため、メンブレンクッションの長手方向に2本の透過管間を結ぶ長細い形状となっている。これにより、逆圧洗浄時の膜の膨らみも抑制している。

3) 半割シェル

φ150×215 LのABS樹脂製で軽量化・再利用化が図られており、モジュール交換等のメンテナンス性が考慮されている。また、メンブレンカセット間、および、半割シェルはボルト・ナットのみで組み立てられており、容易に分解が可能な構造となっている。

4) 圧力容器

高圧処理用にはSUS304製、低圧処理用にはポリエチレン製を使用している。

原水はモジュール入口から流入し、モジュール内に充填される。濃縮水は、全量ろ過の場合は間欠的に、クロスフローろ過の場合は連続的に、モジュール入口と反対側にあるモジュール出口から排出される。メンブレンを通過して得られる処理水は、各処理水スパーサーから2本の透過管（処理水流路機構も兼ねている）に集められ、半割シェル内に設けられている処理流路を通過しモジュール外へ排出される。

2. FM モジュールシステムの概要

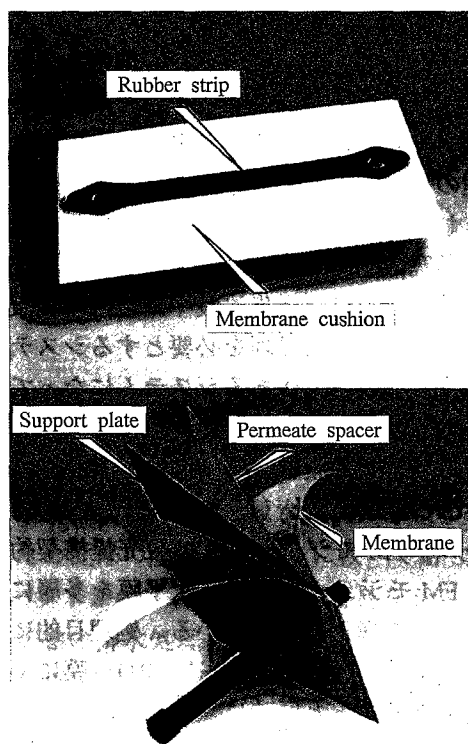
FM モジュールシステムの標準的なフローシート例を第3図に示す。クロスフロー方式と全量ろ過方式をシステム化している。

1) クロスフロー方式

本方式は、各種排水等固形分濃度が高くファウリングを起こしやすい原水に対して採用される。UF膜、NF（ナノろ過）膜、RO膜のそれぞれが用いられる。クロスフローによる膜面でのせん断力により、ファウリングが抑制され安定した透過流束が得られる。原水は供給ポンプにより定量送液され、FMモジュールを含む循環系に送液され、循環系内で循環ポンプにより流速が加速される。濃縮水は、循環系から背圧バルブを経て系外に排出される。処理水は、各FMモジュールから集められ、系外に排出される。背圧バルブは、ろ過圧力を維持すると共に、処理水量を調整する機能を持つ。原水供給量と処理水量を設定することにより、一定の回収率が得られる。

2) 全量ろ過方式

本方式は、表流水ろ過のような固形分濃度の低い原水に対して採用される。主にUF膜が用いられ、回収率が高く、エネルギーコストが低い特長



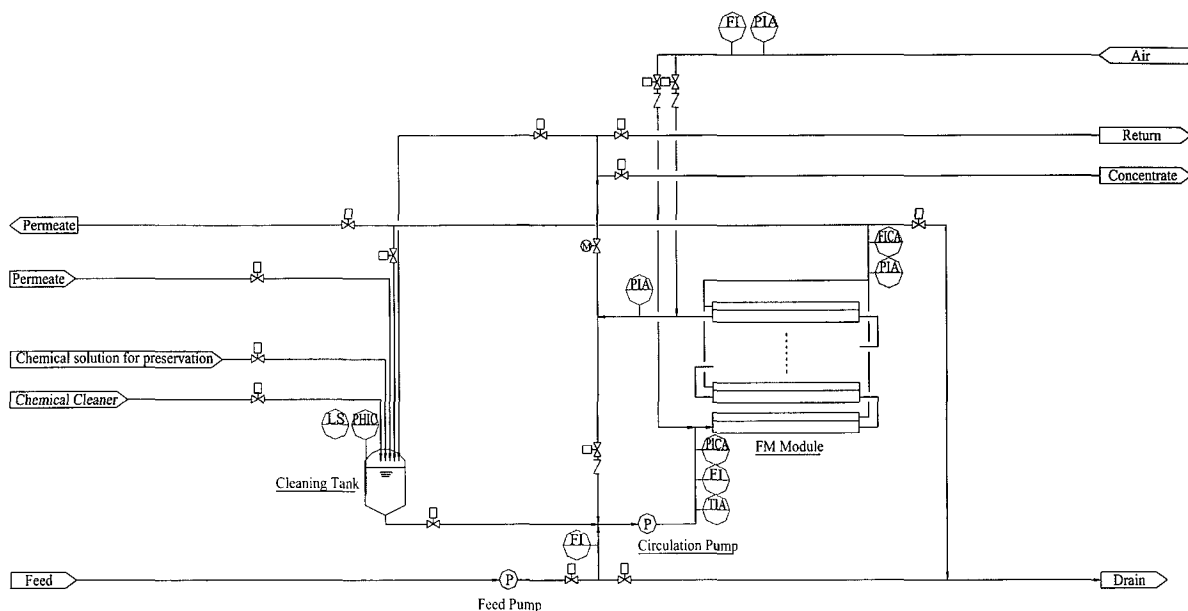
第2図 メンブレンクッション
Fig. 2 Membrane cushion

を持つ。原水は供給ポンプによりFMモジュールに定量送液され、供給量と同量の処理水がFMモジュールから排出される。処理を継続するにつれモジュール内の濃縮率が上昇し、膜間差圧が上昇するため、濃縮水を間欠的に濃縮水出口バルブから排出する。本フローには、膜の物理的洗浄方として空気洗浄機構と逆圧水洗浄機構を有している。膜面への付着物に対して両洗浄を実施することにより処理能力を維持できる。

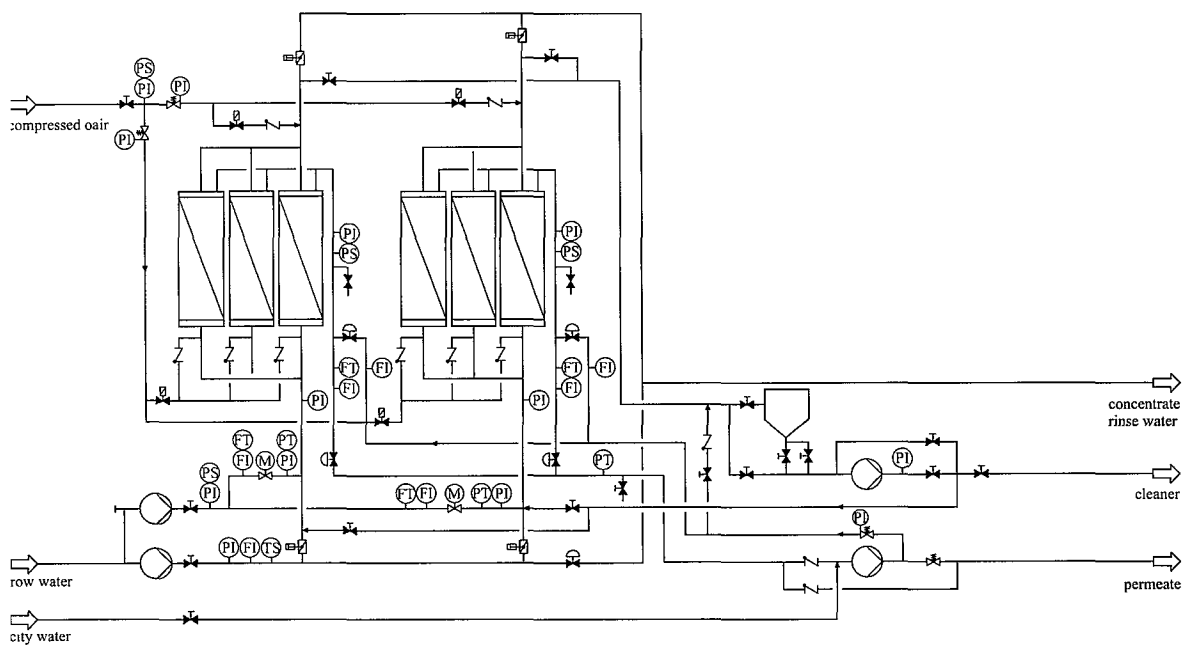
3. FM モジュールシステムの特長

1) シンプルな処理プロセス

UF膜からRO膜まで、前段ではストレーナによる前処理以外は不要である。特にRO膜では従来必要としていた凝集沈殿、さらに、砂ろ過あるいはMF（精密ろ過）膜処理といった前処理不要であり、プロセスがシンプルかつコンパクトである。第4図に、代表的な処理プロセスとしてRO膜を用いた排水処理フロー図を従来法と比して示し、さらにUF膜を用いた活性汚泥処理フロー図を示す。図より、FMモジュールはRO処理においては前処理の大幅な簡略化が可能である。さらにUF膜による膜活性汚泥法ではモジュール外置型であるため、膜のメンテナンス（洗浄



(a) Cross flow type



(b) Dead end type

第3図 FMモジュールシステムフローシート
Fig. 3 Flow diagram of FM module system

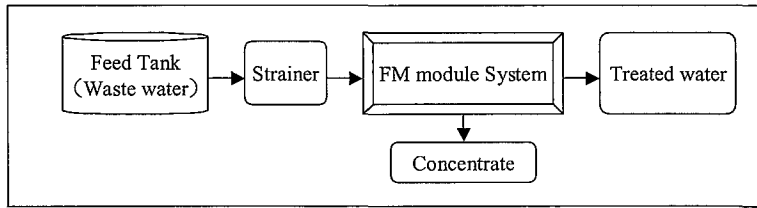
交換等)が極めて容易になっている。

2) 省スペース

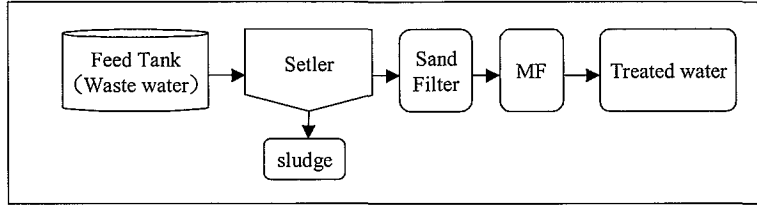
膜モジュール、ポンプ、制御盤等を設置スペースに合わせて合理的に配置できるため、設置スペースが制限されている場合にも柔軟に対応できる。船舶排水処理に適用したときの外観写真、分散配置例をそれぞれ、写真2、第5図に示す。

3) 可変流路幅による閉塞防止

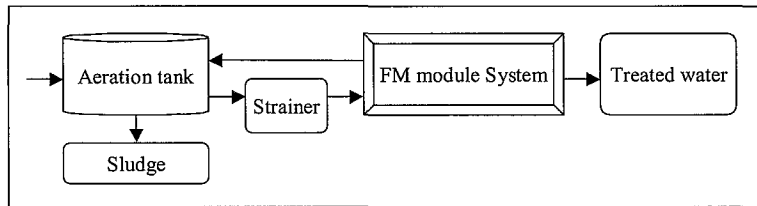
原水流路幅は、スペーサーゴムの厚みを変えることにより、高濁質な原水に対しては広く(3.0 mm)、低濁質な原水に対しては狭く(1.4 mm)とすることで、原水性状に柔軟に対応し、閉塞・ファウリングを防止する。



(a)-(1) Waste water treatment



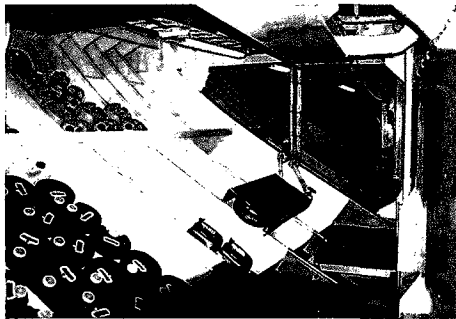
(a)-(2) Conventional technology



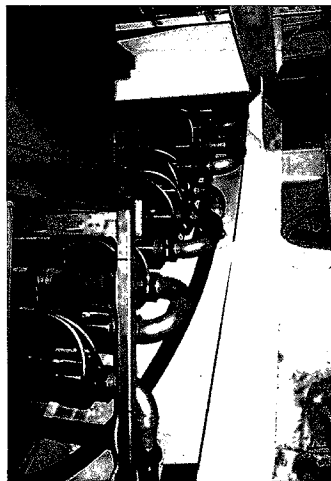
(b) Activated sludge process

第4図 FM モジュールシステムプロセス
ロードダイアグラム

Fig. 4 Process flow diagram of FM mod-
ule system

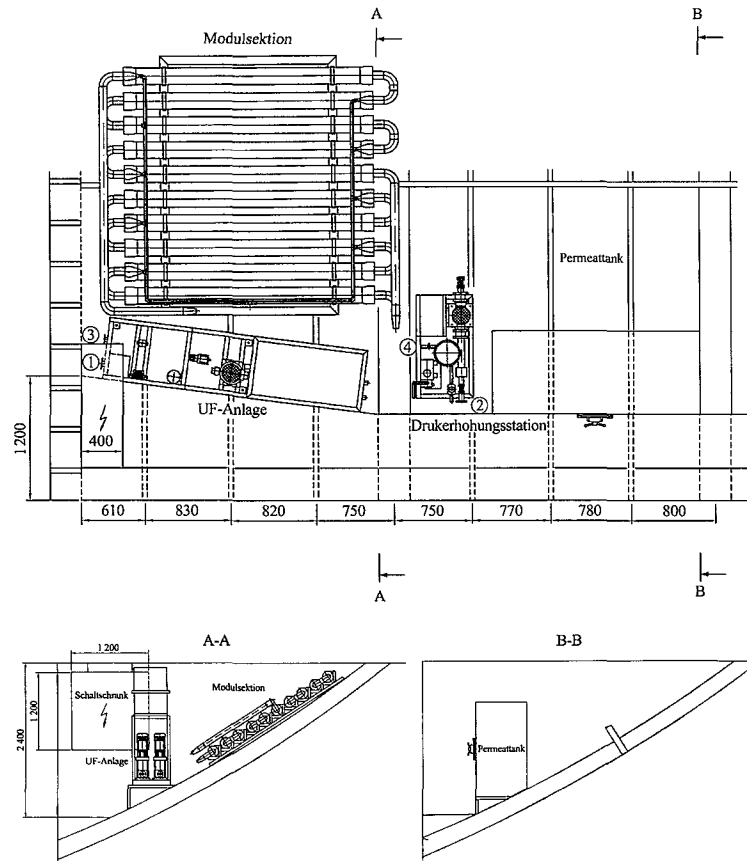


(a) Before installation



(b) After installation

写真 2 FM モジュール船内設置写真
Photo 2 Photograph of FM module sys-
tem in ship



第5図 FM モジュール配置図

Fig. 5 Layout of FM module system in ship

4) 自動運転, 容易な維持管理

システムは洗浄工程を含めて全自動化が可能であり, 複雑な操作, 工数が不要である

5) 交換・分解が容易なカセット構造

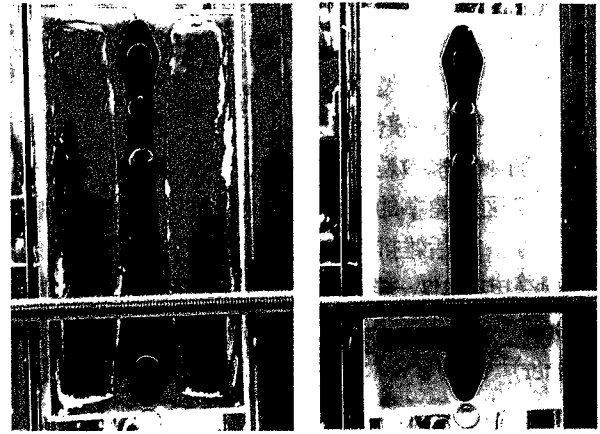
モジュール固定用のUバンドを外し, 新しいモジュールを設置することにより交換できる。また, モジュール内は, ボルト・ナットで組み立てられているφ150mm×215mmのカセットに分解でき, 取り扱いが容易である。

6) 処理内容に応じて膜種選択可能

処理内容, 原水性状に合わせて, UF膜, NF膜, RO膜が装着可能である。

7) 多様な膜洗浄方法

薬品洗浄, エアスクラビング洗浄(気水洗浄), 逆圧水洗浄の3方法を組み合わせ, 効果的な洗浄効果を得ることができる。薬品洗浄は, 膜モジュール内に洗浄薬品を充填させ, ファウリング物質を化学的に溶解させ除去する方法である。エアスクラビング洗浄は, 原水中に空気を送り込み, 気水による物理的せん断力により膜面の付着物を除去する方法である。エアスクラビング洗浄の実施前と実施後の膜面の様子を写真3に示す。逆圧水洗浄は処理水側から水を送り, ファウリング物質, 付着物を除去する方法である。なお, 逆圧水には



(a) Before cleaning

(b) After cleaning

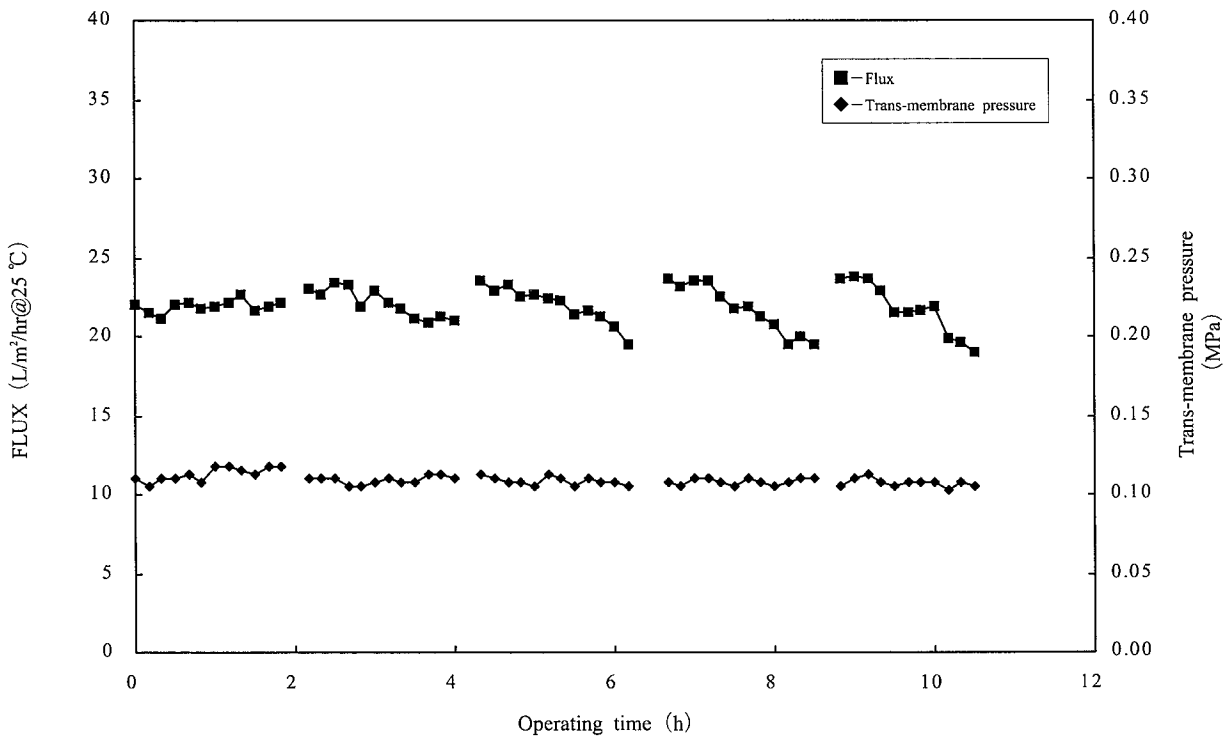
写真3 エアスクラビング洗浄効果

Photo 3 Photograph of membrane before and after air Scrubbing cleaning procedure

処理水を利用する。逆圧水洗浄を組み込んだ処理データの一例を第6図に示す。第6図では, 透過流束の低下を定期的な逆圧水洗浄によって防止している様子が明瞭に示されている。

4. FMモジュールシステム仕様

FMモジュールシステムの仕様を第1表に示す。



第6図 運転データ(逆圧水洗浄を1回/3時間実施)

Fig. 6 Operation data (with back pressure cleaning) one time per 3 hours

5. 処理性能

FM モジュールシステムによる船舶雑排水 (gray water) の RO 膜処理とし尿を含む生活雑排水 (Black water) の膜活性汚泥処理実績を下記に示す。

1) 船舶雑排水の逆浸透膜 (RO) 処理

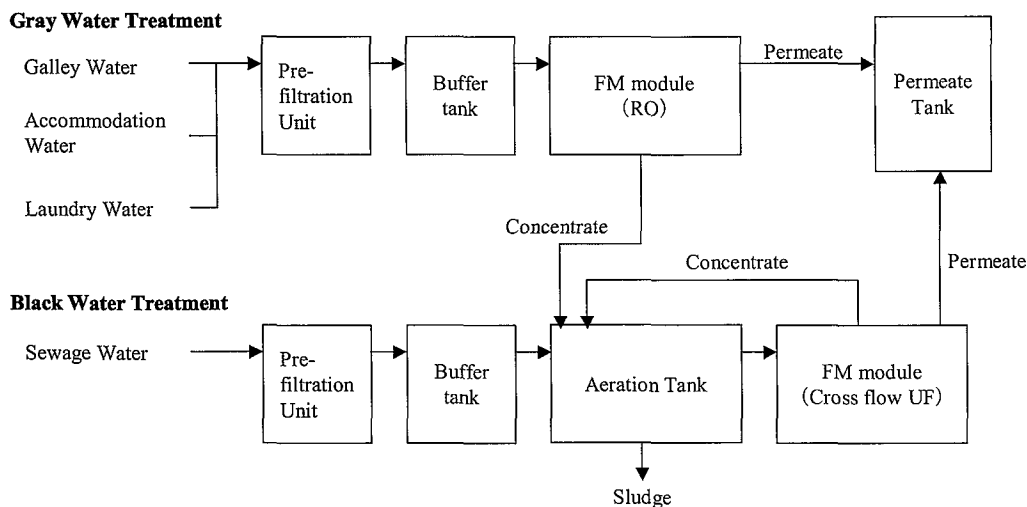
第7図に標準的な船舶の生活雑排水処理フローを示す。生活雑排水は、厨房排水、洗濯排水、手洗い・シャワー排水などの比較的low BOD 排水 (Gray Water) とし尿等の高 BOD 排水 (Black Water) との2つに分けられ、それぞれ、RO 膜処理、膜分離活性汚泥処理を用いて、海洋廃棄のみならず中水再利用が可能な水質まで処理することが可能である。ここでは、RO 膜処理が適用さ

れている Gray Water 処理に関する運転状況を示す。

処理原水である Gray Water は、まず、前処理ユニットで膜処理に詰まりなどの悪影響をおよぼす粒子の大きい固形物や毛髪・繊維類を除去した後、バッファータンクに貯留される。前処理ユニットには自動洗浄機能付きのストレーナーを用いた。バッファータンクに貯留されている Gray Water は FM モジュール RO 処理システムに送液、処水と濃縮水が得られる。処理水は海洋廃棄、あるいは中水再利用され、濃縮水は Black Water とともに活性汚泥処理に送られる。処理水回収率 80~90%、原水水質、処理水水質はそれぞれ 8、9 図に示すとおりで安定した処理水が得ら

第1表 FM モジュールシステム標準仕様
Table 1 Standard specification of FM module system

(1) Type	Cross flow UF	Dead end UF	RO
(2) Membrane	UF (Material: polyacrylonitrile, MWCO: 200 000) UF (Material: polyacrylonitrile, MWCO: 50 000) UF (Material: polyethersulfone, MWCO: 4 000)		RO (Material: polyamide, NaCl rejection: 99 %)
(3) Clearance between membranes	① 3.0 mm (Standard for Activated sludge process) ② 1.8 mm (Standard for UF treatment) ③ 1.4 mm (Standard for RO treatment)		
(4) Membrane area of membrane module	① 3.5 m ² , 7 m ² (in case clearance between membranes is 3.0 mm) ② 4.5 m ² , 9 m ² (in case clearance between membranes is 1.8 mm) ③ 5 m ² , 10 m ² (in case clearance between membranes is 1.4 mm)		
(5) Standard Specification	RC-UF 5 (50 m ²) RC-UF10 (100 m ²) RC-UF20 (200 m ²) RC-UF30 (300 m ²) RC-UF40 (400 m ²) RC-UF50 (500 m ²)	RD-UF 5 (50 m ²) RD-UF10 (100 m ²) RD-UF20 (200 m ²) RD-UF30 (300 m ²) RD-UF40 (400 m ²) RD-UF50 (500 m ²)	LPRO10 (100 m ²) LPRO20 (200 m ²) LPRO30 (300 m ²) LPRO40 (400 m ²)



第7図 船舶雑排水処理プロセスフローダイアグラム
Fig. 7 Process flow diagram of ship's waste water treatment

ている。

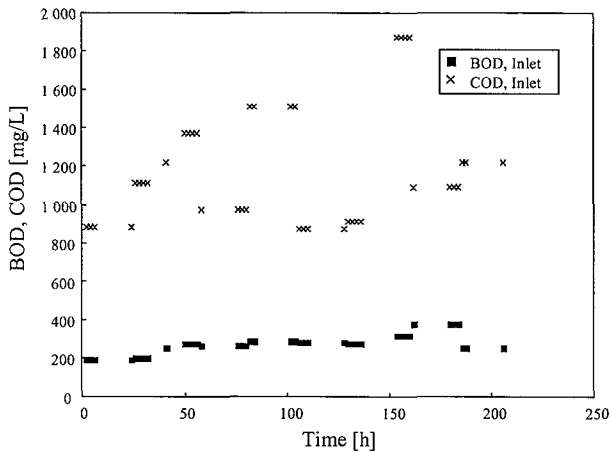
2) 船舶のし尿を含む生活雑排水 (Black Water) の膜活性汚泥処理

前述の Black Water 等の高 BOD 排水 (MLSS 10 000 ppm 以上) に対しては、活性汚泥処理による BOD 低減と、FM モジュールクロスフロー UF 膜処理システムによる固形分除去とを組み合わせた膜活性汚泥処理 (第 4 図(b)) を適用して

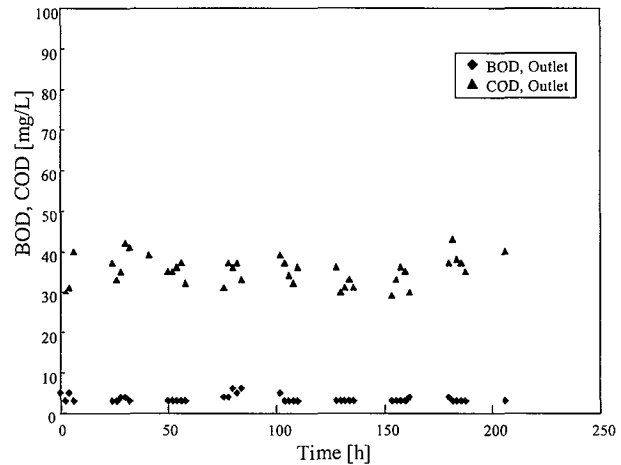
いる。活性汚泥処理に膜分離プロセスを結合することにより、活性汚泥処理の負荷を上げることができ、処理システムをコンパクトにできる。また、外置型になるため、膜のメンテナンス、膜洗浄が極めて容易である。第 2 表に本処理システムの運転データ例および水質データ例を示す。

6. 適用分野と実績

第 3 表に FM モジュールシステムの適用分野の一



第 8 図 原水 BOD, COD
Fig. 8 BOD, COD Inlet



第 9 図 処理水 BOD, COD
Fig. 9 BOD, COD Outlet

第 2 表 FM モジュールシステムを用いた膜活性汚泥処理データ

Table 2 Operation data of membrane bioreactor with FM module system

Application	Artificial Wastewater		Municipal Wastewater	
	feed	permeate	feed	permeate
Number of modules	2		6	
Molecular weight cut off	50 000		200 000	
Capacity [m ³ /d]	6		24	
Feed Pressure [MPa]	0.3		0.3	
BOD [ppm]	500- 800	5-20	100- 200	5-10
TOC [ppm]	285- 410	10-40	300- 700	10-25
COD [ppm]	850-1 200	20-60	1 000-2 000	20-40

第 3 表 FM モジュールシステム適用分野

Table 3 Application of FM module system

Field	Application
Ship	Gray water treatment Black water treatment
Industrial waste water treatment	Separation of sludge in activated sludge process BOD and COD reduction Reuse of waste water Reuse of filter backwashing effluents Oil separation
Municipal water	Surface water purification Sludge concentration

第4表 FMモジュール実績例
Table 4 List of commercial facilities

Application	Install year	Type of membrane	Capacity [m ³ /d]	Membrane Area
Sewage Water	1995	UF	240	100
Sewage Water	1996	UF	480	200
Process Water	1997	UF	1 080	600
Paper Mill Waste Water	1997	UF	480	200
River Water	1998	UF	960	400
Filter Backwashing Effluent	1999	UF	3 000	1 600
Oil from Leachate	1999	UF	480	400
Desalination	1999	RO	240	420
Gray Water	2000	RO	600	1 920
Laundry Water	2000	RO	120	100
Pig Slurry	2000	RO	60	100
Swage Waste	2000	UF	30	50
Gray Water	2001	RO	650	2 400
Black Water	2001	UF	300	218

Another 40 commercial sites except for above list.

例を、第4表に実設備として稼働中の実績の一例を示す。FMモジュールは膜種を選定できることや、耐SS性にすぐれていることから、様々な排水処理に適用されていることがわかる。従来の膜処理装置では、多様で大がかりな前処理を必要としていたが、FMモジュールを用いることでプロセスの簡略化、コンパクト化を可能とした。本システムは、コンパクトさと設置スペースへの柔軟性、また、維持管理の容易さから船舶排水処理に多くの実績がある。本処理プロセスについては、MARPOL条約に沿って、Gray Waterと処理後のBlack Waterを対象に、国際海事機関の決議MEPC.2(IV)の基準によって

Lloyd's Registerの型式認証を取得している。

むすび

FMモジュールシステムは、膜種やモジュールの流路幅を原水性状や処理目的に応じて選択できたため、処理内容・原水性状に柔軟に対応できる。た、前処理プロセスが簡略化できるため各種排水処理への適用が期待され、システムのコンパクト化を図ることができる。

FMモジュールは上記で説明した利点を有するため、様々な排水処理の場面で適用されていくもの期待される。今後は運転データを蓄積して詳細な用報告をおこなう予定である。

連絡先

島田光重 技術開発本部
第2研究開発部
第4研究室

TEL 078-992-6525
FAX 078-992-6504
E-mail m.shimada@pantec.co.jp