

発表番号 19 (0305)

製塩および脱塩工程における膜の汚損とその対策に関する研究

助成研究者:角田 出(石巻専修大学理工学部 生物生産工学科)

共同研究者:柳 明・鈴木英勝(石巻専修大学理工学部 生物生産工学科)

【目的】 イオン交換膜製塩法では、電気透析工程において、砂ろ過等で除去できない海水の有機、無機物質が透析膜の表面あるいは内部の膜界面に付着し、膜の電気抵抗増大、輸液量の減少、膜の損傷等を引き起こす。今回、イオン交換膜の汚損軽減と原因除去に向けた基礎的知見を得ることを目的として、地域特性の異なる2箇所の製塩工場において、流入海水や砂ろ過海水、および膜付着物の成分、生物組成等についての調査を行ったので、その結果を報告する。

【方法】 瀬戸内海に面しているA社と南東北太平洋沿岸に位置するB社を対象に、2003年10-11月、2004年1月および3月に、砂ろ過前の海水(原海水)、一段および二段砂ろ過後の海水(一次ろ過海水と二次ろ過海水)、および透析膜付着物を採取した。膜付着物については、膜面を清浄なスポンジあるいは滅菌脱脂綿で掻きとったものを対象とした。また、膜試料は一部をグルタルアルデヒドあるいは70%アルコールで固定すると共に、凍結真空乾燥後、分析まで低真空状態で保存した。試料海水は、孔径の異なるフィルターでろ過し、そこに捕捉された浮遊懸濁物質(SS)量、有機物量、有機性窒素および多糖類の濃度、細菌を含む微小生物の数や組成、ATP量等を測定した。透析膜付着物については、膜付着乾物量、有機物量、有機性窒素や多糖類の含量、微生物数、ATP量の調査に加え、荷電粒子X線放射化分析法により無機元素の組成と量を調べた。

【結果および考察】二段階の砂ろ過処理は原海水のSSを1/4~1/5にしたが、SS除去率にサイズ選択性は認められなかった。ただし、砂ろ過によってSS組成は大きく変化した。二段階の砂ろ過により0.8あるいは1 μ mを超えるプランクトン類(ナノプランクトンを含む)の数は原海水の0~4%に減少した。同ろ過処理により、細菌数は原海水の1%以下から30%程度と大きく変動し、調査時期によって数値は大きく異なった。砂ろ過は海水中の細菌組成に影響を及ぼさなかった。砂ろ過過程において生物の死骸や糞、代謝産物の水系への流入がかなりある(多糖類が多い)ことが推察された。また、砂ろ過処理の機能最適化に向けて、0.6~1 μ mの粒径サイズのSS除去を考慮すべきことや、導入水系の温度管理の徹底、環境条件の悪い時期、場所における、二段砂ろ過処理の前の新除去システム(粒形0.6 μ m以上のSS対象)設置の必要性が示唆された。

透析膜の汚損(膜付着物の産生速度)は二次ろ過海水中の汚れに左右された。また、膜付着物組成には、透析槽に入る海水中の生物由来脂肪類や難分解性物質の量の違いや膜付着細菌の組成や活性の違い等が反映されていた可能性のあることが判った。一般に細菌は種々のバイオポリマーを産生するが、これらは微生物や各種付着生物の足場となることに加え、種々の物質をトラップするため、細菌類や生物由来の高分子物質(特に水不溶性高分子物質)除去は最優先事項である。なお、膜付着物の40~60%は無機成分で、Al, Si, Cl, Feが中心であることもわかった。

5

助成番号 0305

製塩および脱塩工程における膜の汚損とその対策に関する研究

助成研究者 : 角田 出(石巻専修大学 理工学部 生物生産工学科)

共同研究者 : 柳 明(石巻専修大学 理工学部 生物生産工学科)

共同研究者 : 鈴木英勝(石巻専修大学 理工学部 生物生産工学科)

1. 緒論

イオン交換膜製塩法では、砂ろ過器を経た海水をイオン交換膜電気透析槽に導き、電気透析工程において海水を濃縮(ここまでの工程を採かん工程と呼ぶ)した後、得られた濃縮海水を蒸発工程でさらに濃縮して塩を析出させる。電気透析工程では、イオン膜を介して多数の脱塩室と濃縮室を交互に並べ(通常300~400対)、両室に電解質溶液を供給しつつ通電する。この時、砂ろ過等で除去できない海水中のナノプランクトンや細菌類、多くのイオン性有機物、生物・非生物由来の懸濁微粒子等は、その分子量や膜付着性の増大と共にイオン交換膜を通過することが困難となる。これらの砂ろ過等で除去できない微生物や物質は、膜の表面あるいは内部の膜界面に付着し、膜の電気抵抗増大、輸液量の減少、膜の損傷等を引き起こす原因となる。従って、定期的に装置を解体し透析膜やスペーサーの洗浄を行う必要があるが、これはコストの上昇、労力の増加を招くと共に、膜損傷の原因ともなっている。そのため、これら膜汚損の原因物質や発生メカニズムの解明、防損方法の検討がなされてきた。しかし、海水中に存在する汚損物質の種類や性質、地域特性などに関する知見は限られており、膜の汚損と交換効率の低下を避けるための対策は未だ十分とは言えない。

そこで我々は、イオン交換膜の汚損軽減と原因除去に向けた基礎的知見を得ることを目的として、地域特性の大きく異なる2箇所の製塩工場において、流入海水や砂ろ過海水、および膜付着物の無機・有機成分、生物組成や活性についての調査を行った。ここでは、両製塩工場における、砂ろ過前後の海水中やイオン交換膜表面上の生物と非生物由来の汚損物質の組成における年変動について報告する。

2. 実験方法

2-1. 試料採取

調査対象工場は、瀬戸内海に面しているA社と南東北太平洋沿岸に位置するB社である。2003年の10~11月、2004年の1月および3月に、それぞれの製塩工場において、砂ろ過前の海水(以下、原海水という)、1段砂ろ過後および2段砂ろ過後の海水(それぞれ、一次ろ過海水、二次ろ過海水とする)、および透析膜付着物を採取した。膜付着物については、膜面を清浄なスポンジあるいは滅菌脱脂綿で掻きとったものを対象とした。また、膜試料は一部を5~10%グルタルアル

デヒド固定液あるいは70%アルコール内に保存すると共に、凍結真空乾燥後、分析まで低真空状態で保存した。（なお、予備調査として、2003年5月に（財）潮事業センター海水総合研究所にて、原海水、一次ろ過水海水、二次ろ過海水試料を採取し、以下の分析を行ったが、今回の報告では割愛する。）

2-2. 試料成分の分析

原海水、一次および二次ろ過海水は、それぞれ、孔径 $1\mu\text{m}$ 、 $0.6\mu\text{m}$ および $0.3\mu\text{m}$ のGFフィルターでろ過し、各フィルターにより捕捉された浮遊懸濁物質（SS）量および強熱減量法による有機物量の算定を行った。なお、前者は1Lの試料をろ過した後、20mLの蒸留水で3回緩速洗浄したものを乾燥して、乾燥前後の重量差より、後者は前者の処理を行ったフィルターを 450°C で燃焼させた前後の重量差により求めた。

各海水中の有機性窒素（タンパク質、アミノ酸、酸アミド類等）および多糖類の濃度は以下の方法により求めた。すなわち、フィルター上および孔径 $1\mu\text{m}$ のGFフィルターを通過したろ液をpH10.5以上にしてアンモニアをストリッピングした後、当該ろ液中の有機性窒素をケルダール法で、多糖類をエタノール沈殿、アルカリ溶解後にアンスロン硫酸法によりそれぞれ測定した。

海水試料中の細菌については、ZoBell 2216E 培地およびトリプトソーヤ寒天培地を用いた平板培養法と海洋細菌の一般同定法あるいは細菌同定キット（日本ベクトン・ディッキンソン社製のオキシファームチューブIIおよびエンテロチューブII）の組み合わせにより、数と組成を調べた。また、試料に最終濃度で1%になるようにグルタルアルデヒドを添加して海水中のナノ・ピコプランクトン等を固定した後、孔径 $0.8\mu\text{m}$ （前者）あるいは $0.2\mu\text{m}$ （後者）のフィルターでろ過し、ろ紙上に捕集された微生物の数や種類をDAPI法により染色して観察した。加えて、細菌数の簡易迅速分析のために、孔径 $0.6\mu\text{m}$ のフィルターでろ過した液を $5,000g$ で5分遠心分離し、その沈殿を5mMグリシン緩衝液（pH7.5）に分散させた後、 95°C で5分の加熱あるいは酵素による20分間の溶菌および超音波処理を行った後、ATP測定装置を用いてATP量を求めた。なお、同時に孔径 $0.2\mu\text{m}$ のフィルターでろ過した液についてもATP量を測定し、両者の差を細菌由来のATP量とした。

透析膜付着物については、 105°C で24時間乾燥して膜付着乾物量を求めた後、上述の調整・分析法を行って、有機物量、有機性窒素、多糖類含量の測定、微生物数、ATP量の調査に加え、荷電粒子X線放射化分析（PIXE）法により無機元素の定性・定量を行った。PIXE分析は、独立法人放射線医学総合研究所において、静電加速器 Model 4117MC Tandetron タンデトロンタイプを用い、真空下にセットした測定試料を以下の条件下で行った：ビームエネルギー； $1\sim 1.5\text{MeV}$ 、ビームカレント； $10\sim 50\text{nA}$ 、ビーム径； 4mm 、測定時間； $10\sim 30$ 分、Si(Li)検出器の前に厚さ $500\mu\text{m}$ のマイラー膜を装着および非装着。標準試料としては、牛肝臓標準試料および膜付着物質の乾燥粉末を硝酸と過塩素酸（5：1）で湿式灰化（密閉式のテフロン容器に入れ、オートクレーブにて分解： 121°C 、60分）後、誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP；セイコウSPS-7000）を用いて各種元素を定量し、値付けをしたものを用いた。

3. 結果

Figs. 1&2 に、A 社と B 社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中の SS 濃度 (量) について、サイズ別にそれらの年変動を示す。A 社の 2004 年 1 月の一次ろ過海水での結果を除き、A、B 両社とも、原海水、一次ろ過海水、二次ろ過海水と処理が進むにつれて海水試料中における SS 量は全てのサイズで同程度に減少し、二次ろ過海水では原海水の値の 4~5 分の 1 程度となった。なお、A 社では、海水中 SS 量が年間を通して B 社の 1.5~2.0 倍の高い値を示したほか、1~0.6 μm サイズの粒子が多かった。また、B 社では、2004 年 3 月に原海水中の 1~0.6 μm サイズの粒子、および一次ろ過海水の 0.6 μm 以上のサイズの粒子が増加する傾向にあった。

Figs. 3&4 に、A 社と B 社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中の SS 中の有機物比 (全体に対する有機物の割合) における年変動を示す。原海水と一次ろ過海水の有機物比は A 社では 0.6~0.9、B 社では 0.5~0.8 とあまり差はないが、二次ろ過海水になると両社とも当該比は低下し、それぞれ 0.5~0.6、0.3~0.5 となった。粒子のサイズ別では、0.3~0.6 μm のもので値の低下傾向がみられた。なお、A 社では 2004 年 3 月に二次ろ過海水で値の上昇が認められた。

Fig. 5 に A 社と B 社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中の多糖類濃度における年変動を示す。A 社では、一次ろ過海水が 1~2mg/mL と最も高く、二次ろ過海水、原海水と続く。B 社では、原海水に比べ、一次あるいは二次ろ過海水に僅かではあるが高値が認められた。また、2003 年 10-11 月と 2004 年 1 月における両社の値を比べると、A 社は B 社のそれぞれ 5 倍、3~4 倍であった。

Fig. 6 に A 社と B 社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中の有機性窒素濃度における年変動を示す。A 社では一次ろ過海水の値が高く、原海水、二次ろ過海水と続いた。B 社では、原海水あるいは一次ろ過海水に比べ、二次ろ過海水の値は低かった。また、A 社における原海水、一次ろ過海水、二次ろ過海水の値は、それぞれ B 社の 3 倍、2~6 倍、1~2 倍であった。

Fig. 7 に A 社と B 社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中のトリプトソーヤ寒天培地を用いた一般培養法によって求めた細菌数における年変動を示す。ZoBell2216E 培地とトリプトソーヤ寒天培地によって培養した結果、両者間で細菌の数および種類に有意な差が認められなかったため、ここでは後者で得られた結果について述べる。両社とも、原海水、一次ろ過海水、二次ろ過海水と処理が進むほど菌数は減少する。B 社の細菌数は、2003 年 10-11 月では A 社の 7 分の 1 (原海水および二次ろ過海水) から 35 分の 1 (一次ろ過海水) 程度であったが、その後には値は上昇し、同年 3 月には A 社との間に差が認められなくなった。

Fig. 8 に A 社と B 社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中の DAPI 法によって求めた細菌数における年変動を示す。2003 年 10-11 月のデータを除いて、Fig. 7 の結果と同様であった。ただし、上記期間では、B 社において高い値が認められた (ただし、A 社のデータが欠如しているため、時期的な変化を云々することは出来ない)。

Fig. 9 に 2003 年 10~11 月における、A 社と B 社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中の細菌組成を示す。両社とも、*Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Moraxella*,

Pasteurella 属細菌が見つかった。但し、それらの組成(構成比)は海水の種類および社によって多少異なった。海水の種類では、原海水に比べ、一次ろ過海水では *Acinetobacter* が減り、*Pseudomonas* が増加した。また、細菌組成には大きな違いは認められなかったものの、A社ではB社に比べて、*Acinetobacter* の割合が高く、*Vibrio* の割合が低かった。なお、これらの傾向は、時期にあまり影響されなかった。

Fig. 10にA社とB社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中のDAPI法によって求めた細菌を除く微小生物(N; ナノプランクトン、D; 珪藻類)数における変動を示す。細菌を除く微小生物の数は砂ろ過処理に伴い激減し、ナノプランクトンについてはA社では1mL当たり20個以下、B社では10個以下に、珪藻類に関しては不検出あるいは1mL当たり1個以下となった。但し、一次ろ過海水と二次ろ過海水の間には有意な差は認められなかった。なお、原海水にみられた珪藻の種類は、A社では主に *Eucampia*, *Melosia*, *Chaetoceros* および *Nitzschi* 属、B社では、*Melosia*, *Thalassiosira*, *Chaetoceros* および *Nitzschi* 属であり、それぞれ、前の二種で全体の70%以上を占めていた。

Fig. 11にA社とB社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水中の細菌由来ATP発光相対強度における年変動を示す。2003年10-11月を除き、Fig. 7と同様の結果となった。但し、2003年10-11月では、両社とも、全体的に値が高く、中でもA社の原海水の値は特に高かった。

Fig. 12にA社とB社の原海水、一次ろ過海水、および二次ろ過海水における細菌数と細菌由来ATP発光相対強度の関係を示す。両者には高い正の相関関係が認められた。

Fig. 13にA社とB社のアニオン(A)およびカチオン(C)膜付着物の産生速度における年変動を示す。両社とも、2003年10-11月に比べて、2004年1月に産生速度は低下したが、同年4月には上昇傾向を示した。また、A社における付着膜の産生速度では、B社の2倍強であった。

Fig. 14にA社とB社のAおよびC膜付着物の有機物量比(有機物の割合)における年変動を示す。有機物量比は、2003年10-11月と2004年1月には0.35~0.45であったが、2004年3月では0.50~0.65に上昇した。なお、両社の有機物量比や膜の種類による差は認められなかった。

Fig. 15にA社とB社のAおよびC膜付着物中の多糖類量における年変動を示す。両社とも、膜の種類による差はなく、A社の値は常にB社の1.5~3.0倍であった。また、両社とも時期による有意な変動は認められなかった。

Fig. 16にA社とB社のAおよびC膜付着物中の有機性窒素量における年変動を示す。両社とも、膜の種類による差はなく、A社の値はB社の1.1~1.5倍程度と僅かに高かった。また、両社とも時期による有意な変動は認められなかった。

Fig. 17にA社とB社のAおよびC膜付着物中の細菌数における年変動を示す。両社とも、膜の種類による差はなかった。2003年10-11月と2004年1月では、A社の値はB社の10倍程度であったが、2004年3月にはB社の値が著しく低下した(それまでの200分の1に減少)ため500倍以上の高値となった。なお、A社においては、時期による差は認められなかった。また、細菌組成に関しては、両社、膜、時期による違いは認められず、*Acinetobacter* (45~60%)、

Pseudomonas (5~15%), *Moraxella* (10~20%), *Pasteurella* (5~10%) 属細菌で約 90% を占めていた。但し、低頻度 (5%以下) であるが膜付着物からは *Alteromonas* および *Bacillus* 属細菌も認められた。

Fig. 18 に A 社と B 社の膜付着物中における細菌数と ATP 発光相対強度の関係を示す。両者には高い正の相関関係が認められた。

Figs. 19&20 に A 社と B 社の A および C 膜付着物中の無機成分組成比における年変動を示す。付着物からは Al, Si, P, S, Ca, K, Cl, Fe, Mn, Cu, Br 等が検出され、中でも Al, Si, Cl, Fe の存在比は高かった。なお、当該比に両社間、時期および膜の種類による差は認められなかった。

4. 考察

二段階の砂ろ過により、原海水の SS は 4~5 分の 1 に減少したが、砂ろ過による SS 除去率にはサイズ選択性は認められなかった。ただし、砂ろ過によって海水中の SS の組成は大きく変化した。SS の有機物比や多糖類および有機性窒素濃度、微小生物の数や組成の変化、および一般培養法および DAPI 法による細菌の検出および ATP 量の測定値から以下のことが示唆された：(1) 二段階の砂ろ過により 0.8 あるいは $1\mu\text{m}$ を超えるプランクトン類 (ナノプランクトンを含む) の数は常に原海水の 0~4% にまで減少する、(2) 同ろ過処理の結果、細菌数は原海水の 1% 以下から 30% 程度まで大きく変動し、調査時期によって数値は大きく異なる、(3) 砂ろ過は海水中の細菌組成には影響を及ぼさない、(4) 砂ろ過処理を経ることにより生物の数の減少および活性の低下が生じている可能性は高い、(5) 砂ろ過過程において生物の死骸や糞、代謝産物の水系への流入がかなりある (多糖類の存在が大きい)、(6) 二次ろ過海中には貧栄養性細菌や硝酸・硫酸還元菌等が生育している可能性がある、(7) 砂ろ過処理の機能的最適化を図るには $0.6\sim 1\mu\text{m}$ の粒径サイズの SS 除去を考慮する必要がある、(8) 導入水系の温度管理に注意すると共に、環境条件の悪化する時期、あるいは A 社のような原海水の環境条件のあまり良くない場所 (SS 量や細菌数が多いことに加え、*Acinetobacter* 属細菌が多く *Vibrio* 属細菌が少ない等からも富栄養化が進んでいることが判る) においては、二段砂ろ過処理の前に粒形 $0.6\mu\text{m}$ 以上の SS を対象にした新たな除去システムの設置が有効である。

今回調査した製塩工場においては、透析膜の汚損 (膜付着物の産生速度) は二次ろ過海水中の汚れ (SS の量や組成) に大きく左右されていた。しかし、A 社と B 社を比べると、膜付着物の有機物比に差はなかったが、多糖類量や細菌数には大きな違いが、また有機性窒素量にも僅かであるが差が認められた (A 社の値は B 社よりも高い)。この理由は不明であるが、両社の膜付着物組成には、(1) 透析槽に入る海水中の生物由来脂肪類や難分解性物質の量の違いや (2) 膜付着細菌の組成や活性の違い等が反映されていた可能性がある。なお、後者については、*Alteromonas* や *Bacillus* 属細菌の存在も考慮する必要があるだろう。一般に細菌は種々のバイオポリマーを産生し、その中にはタンパク質やムコ多糖類等の高分子化合物が含まれている^{1,3)}。これらは、微生物だけ

でなく各種付着生物の足場となることに加え、いろいろな物質のトラップとして機能すると考えられる。従って、細菌類および生物由来の高分子物質（特に水不溶性高分子物質）除去は最優先事項である。

尾方⁴⁾は製塩における膜付着物を分析し、膜への重量付着速度（本報告では付着物産生速度）や付着物に占める有機物の割合、付着無機成分の組成等を調査しているが、今回の結果は付着速度については同程度あるいは低め、有機物の割合（平均 61%）および無機成分としての Fe, Mn, Si および Mg の含量については同程度であった。ただし、今回の結果では、Al については彼らの報告した値の 2 分の 1 以下であり、Ti については検出されなかった。付着物試料の採集方法の違いに加え、分析手法にも違いはある（PIXE 法では Al は検出限界付近の元素であるため測定誤差が出やすい可能性がある）が、付着物中の Al や Ti 含量については再検討の必要性が有る。ただし、膜付着物の 40~60%は無機成分であったことから、透析槽への無機成分、中でも Al, Si, Cl, Fe の流入・付着について、その制御法を早急に確立する必要がある。

謝辞

海水および透析膜試料の採取にいろいろとご協力頂いた関係製塩工場の皆様、ならびに PIXE 装置の運転・データ収集にあたって終始ご協力頂いた独立法人放射線医学総合研究所の関係各位に厚くお礼申し上げます。

6. 文献

- 1) 田中信彦, II.付着機構と遷移 2.微生物と付着珪藻, 海産付着生物と水産増養殖(梶原 武編), 水産学シリーズ 64, 日本水産学会監修, 恒星社厚生閣, 東京, pp.19-27 (1987)
- 2) Geesey G.G., Identification of proteins that participate in bacterial adhesion, Final Technical Report, USA (1998)
- 3) N. Hayase, T. Sogabe, R. Itou, J. Sunamoto, Polymer film produced by a marine bacterium, J. Biosci. Bioeng., 95(1), 72-76 (2003)
- 4) 尾方 昇, 新野 靖, 清水典子, 製塩における膜付着物分析方法および調査結果, 日本海水学会誌, 38(5), 306-313 (1985)

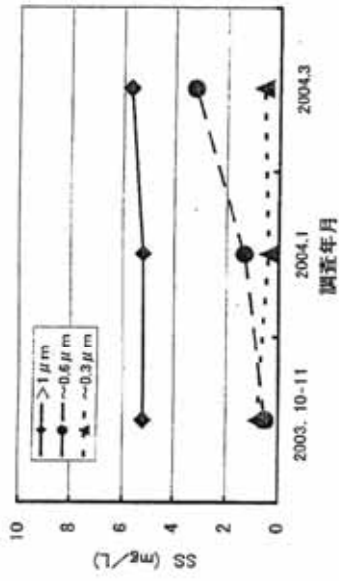


Fig. 2(a) B社原海水中のSS濃度における年変動

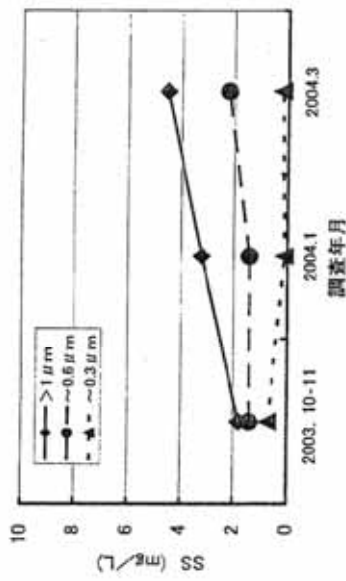


Fig. 2(b) B社一次ろ過海水中のSS濃度における年変動

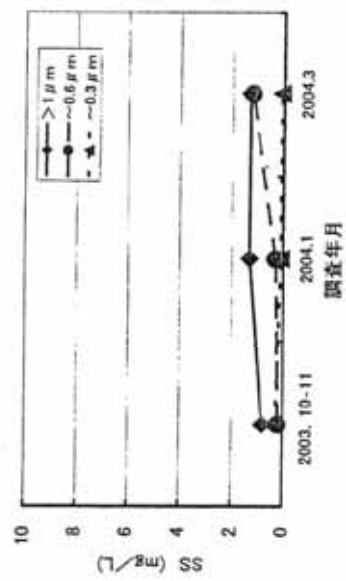


Fig. 2(c) B社二次ろ過海水中のSS濃度における年変動

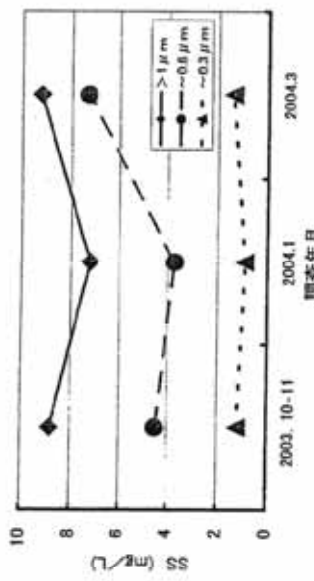


Fig. 1(a) A社原海水中のSS濃度における年変動

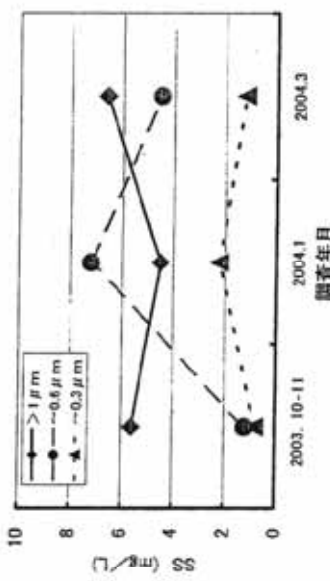


Fig. 1(b) A社一次ろ過海水中のSS濃度における年変動

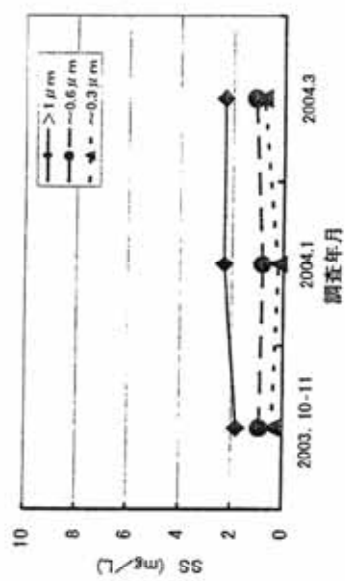


Fig. 1(c) A社二次ろ過海水中のSS濃度における年変動

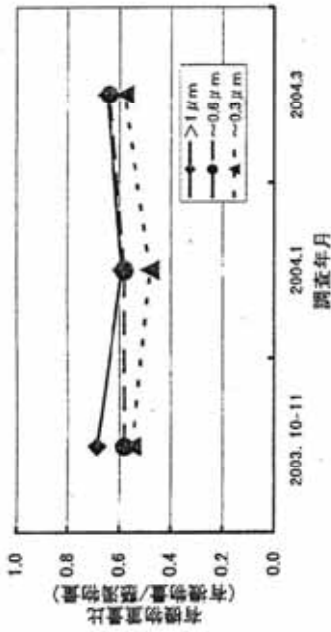


Fig. 4(a) B社原海水の有機物重量比における年変動

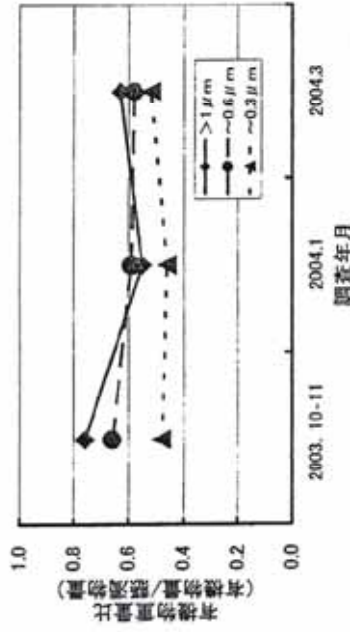


Fig. 4(b) B社一次ろ過海水中の有機物重量比における年変動

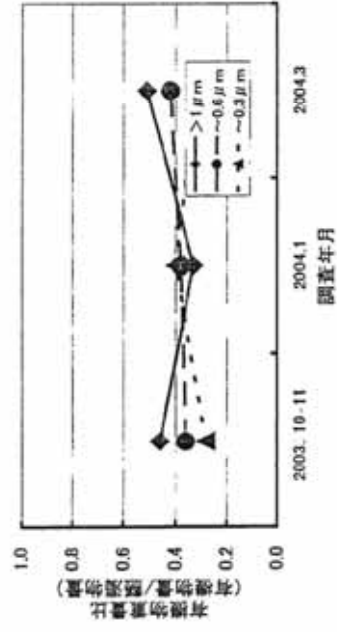


Fig. 4(c) B社二次ろ過海水中の有機物重量比における年変動

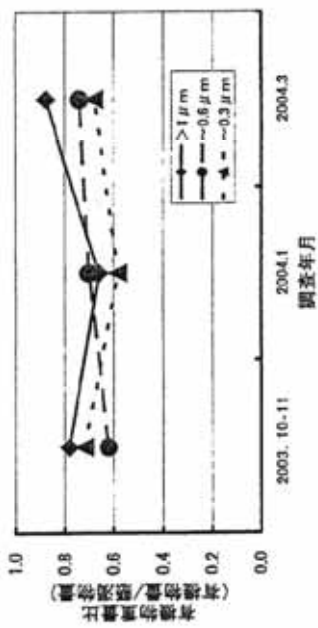


Fig. 3(a) A社原海水中の有機物重量比における年変動

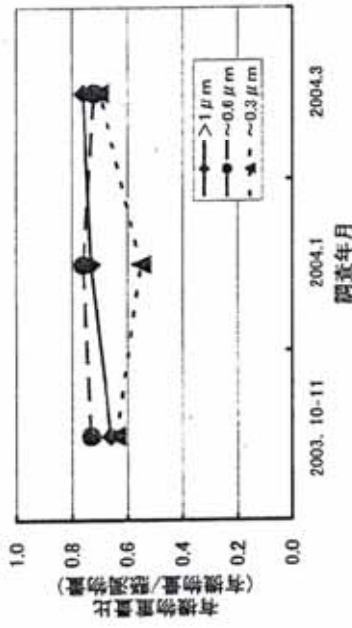


Fig. 3(b) A社一次ろ過海水中の有機物重量比における年変動

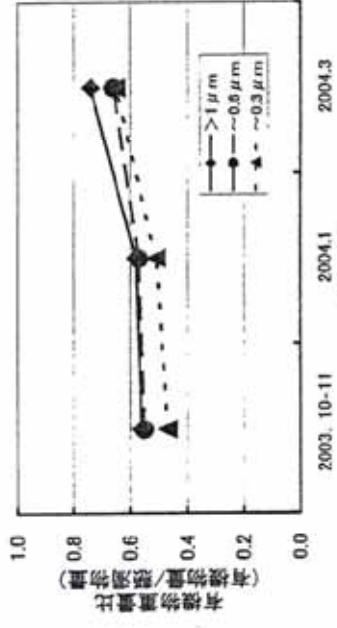


Fig. 3(c) A社二次ろ過海水中の有機物重量比における年変動

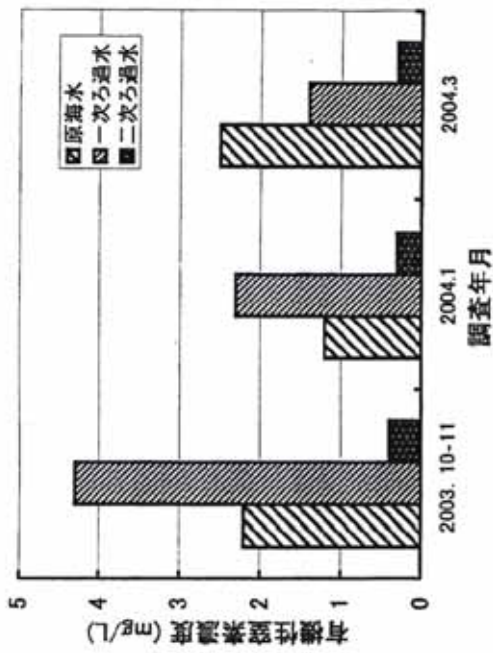


Fig. 6(a) A社海水中の有機性窒素濃度における年変動

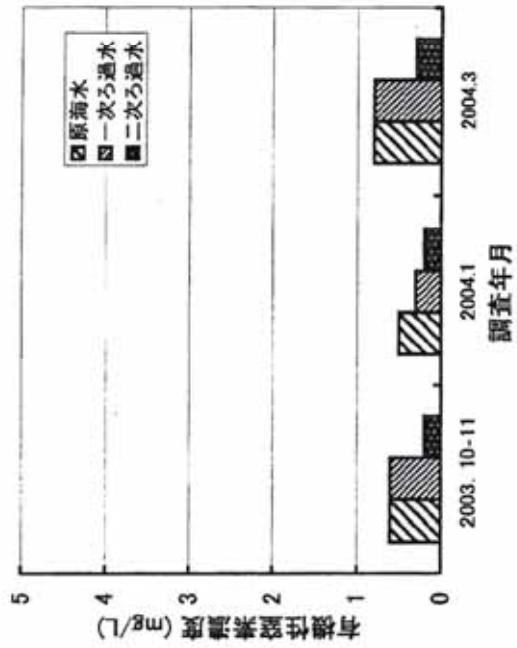


Fig. 6(b) B社海水中の有機性窒素濃度における年変動

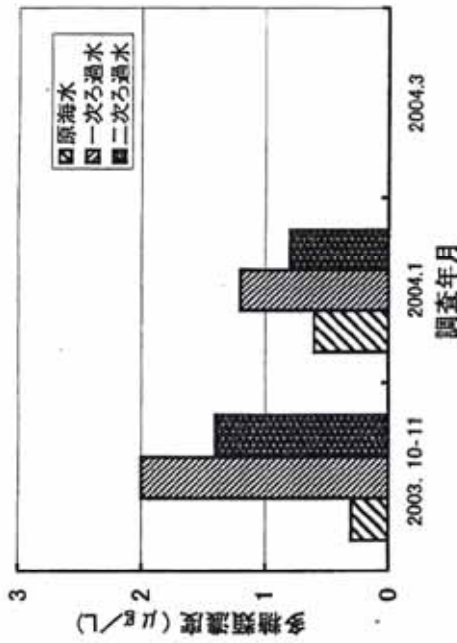


Fig. 5(a) A社海水中の多糖類濃度における年変動

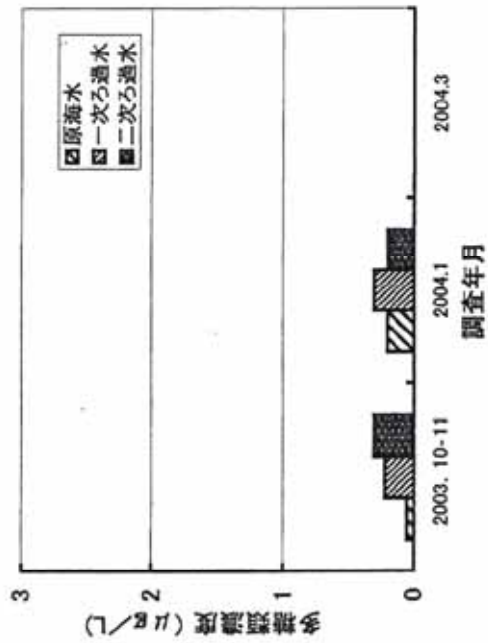


Fig. 5(b) B社海水中の多糖類濃度における年変動

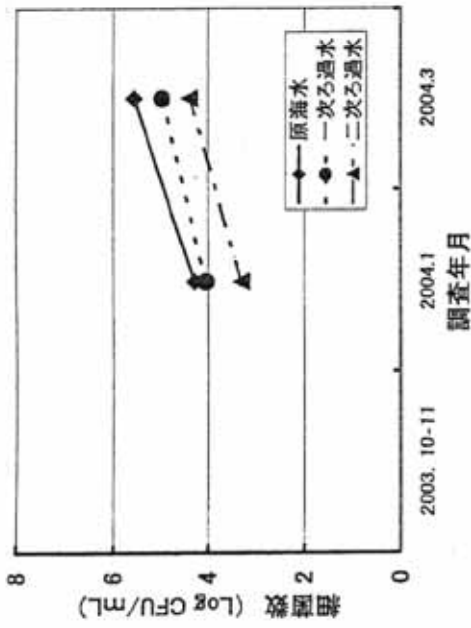


Fig. 8(a) A 杜海水中の細菌数における年変動(DAPI法)

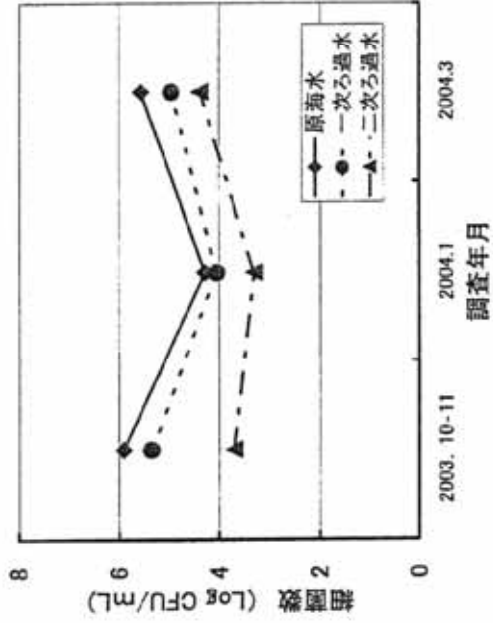


Fig. 8(b) B 杜海水中の細菌数における年変動(DAPI法)

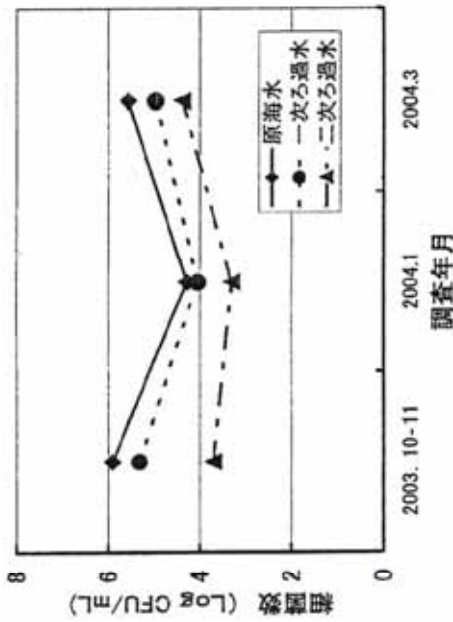


Fig. 7(a) A 杜海水中の細菌数における年変動

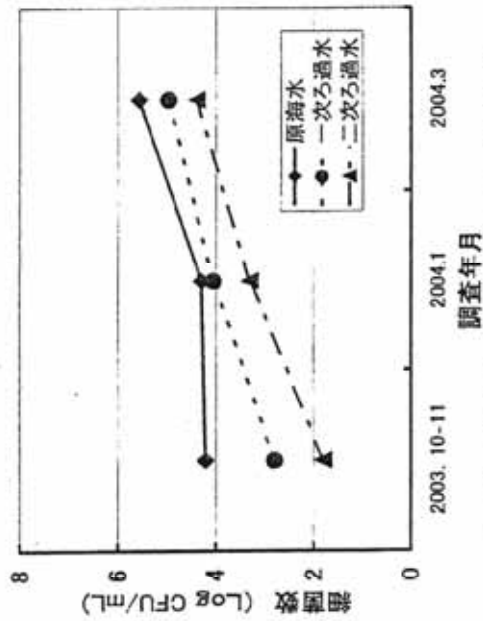


Fig. 7(b) B 杜海水中の細菌数における年変動

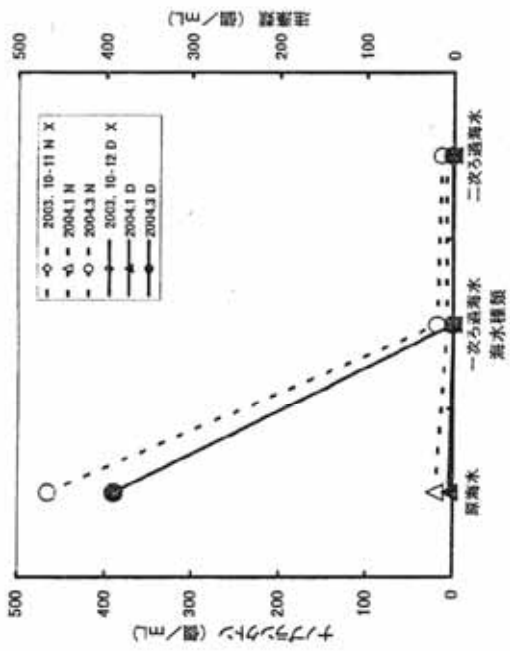


Fig. 10(a) A社海水中の微小生物数(細菌を除く)

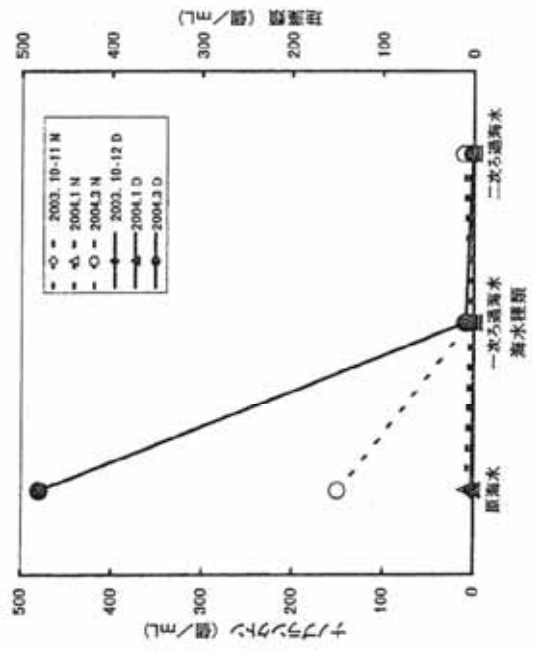


Fig. 10(b) B社海水中の微小生物数(細菌を除く)

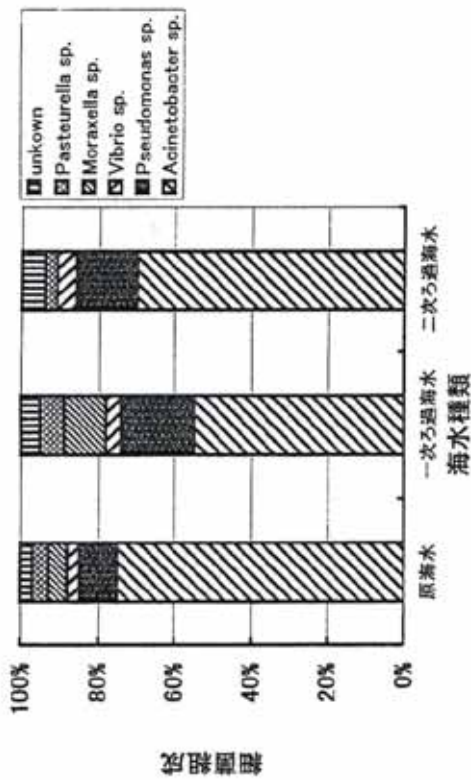


Fig. 9(a) A社海水中の細菌組成

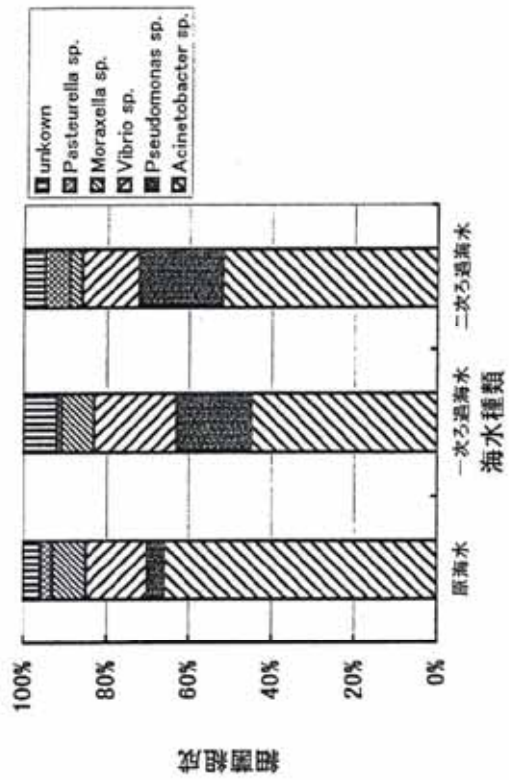


Fig. 9(b) B社海水中の細菌組成

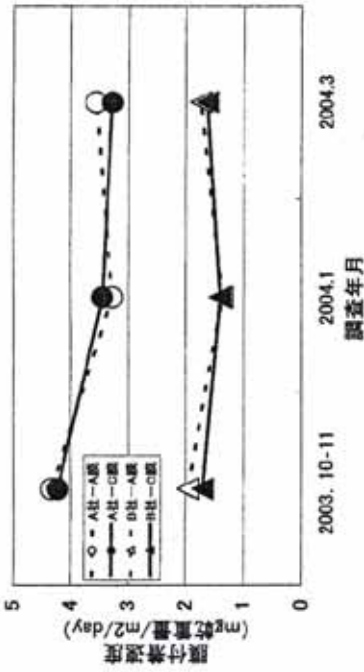


Fig. 13 膜付着物の産生速度における年変動

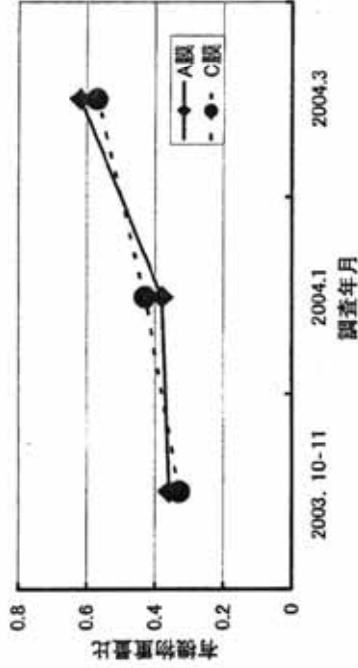


Fig. 14(a) A社膜付着物の有機物量比における年変動

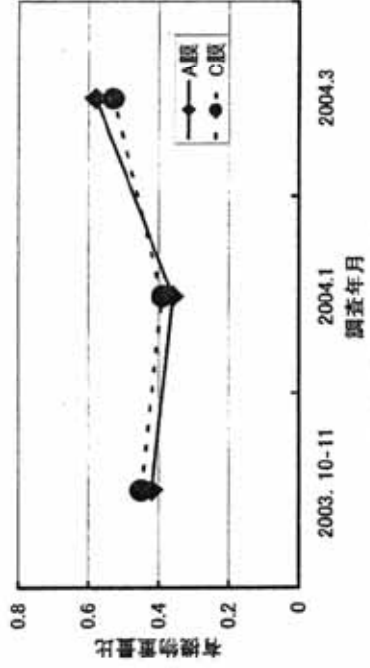


Fig. 14(b) B社膜付着物の有機物量比における年変動

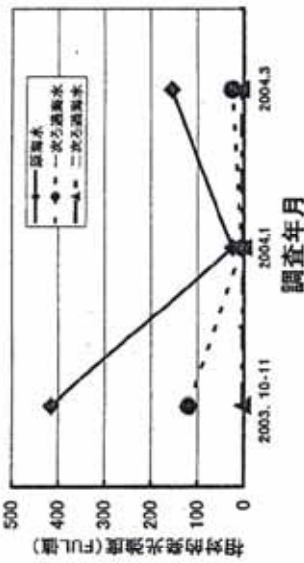


Fig. 11(a) A社における海水中の細菌由来ATP発光相対強度

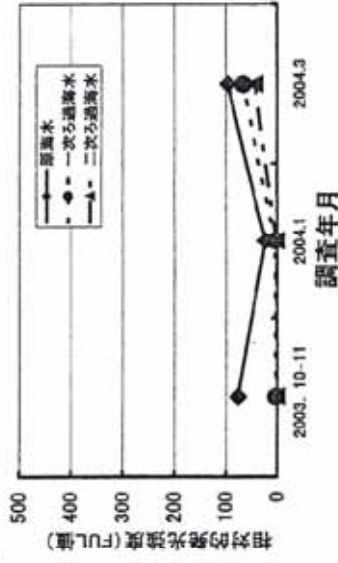


Fig. 11(b) B社における海水中の細菌由来ATP発光相対強度

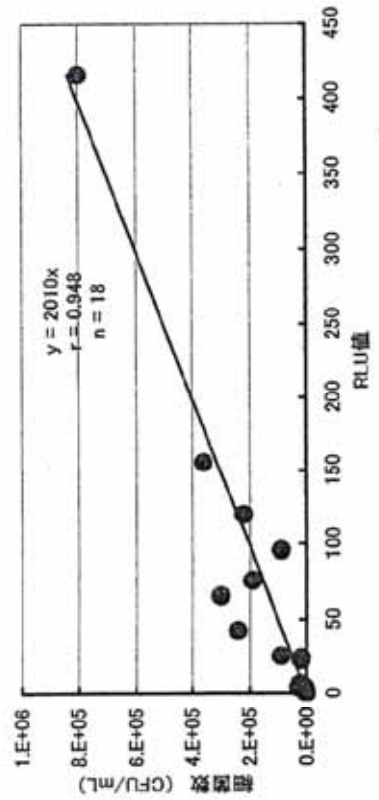


Fig. 12 海水中の細菌数とATP相対発光強度(RLU値)の関係

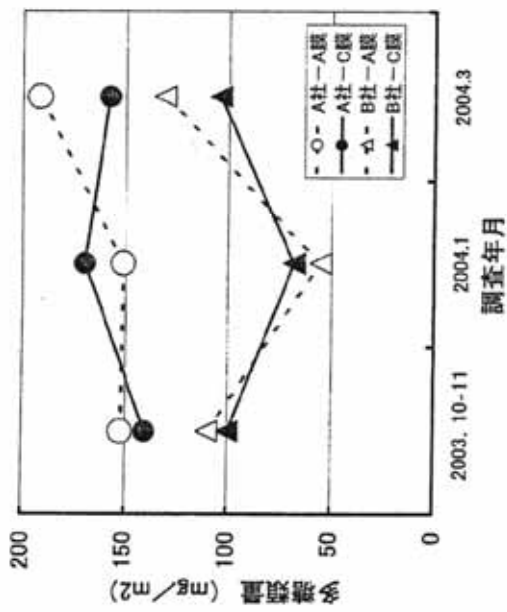


Fig. 15 膜付着物中の多糖類量における年変動

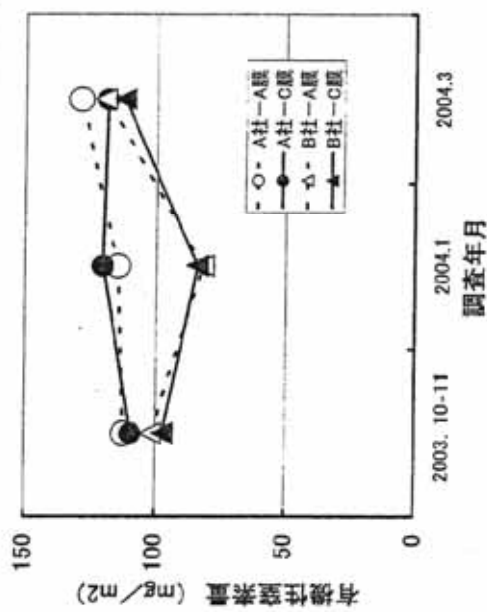


Fig. 16 膜付着物中の有機性窒素量における年変動

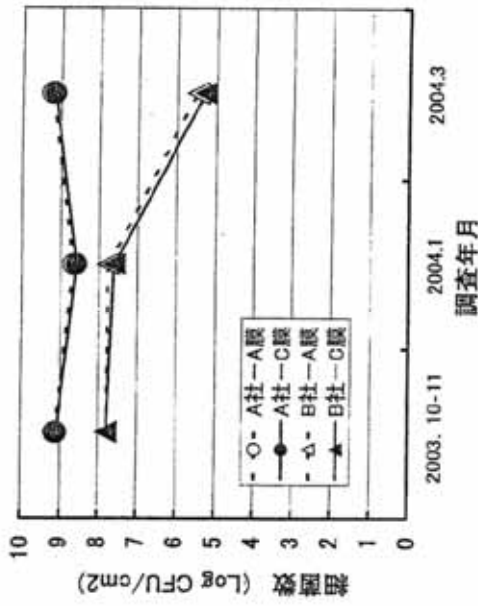


Fig. 17 膜付着細菌数における年変動

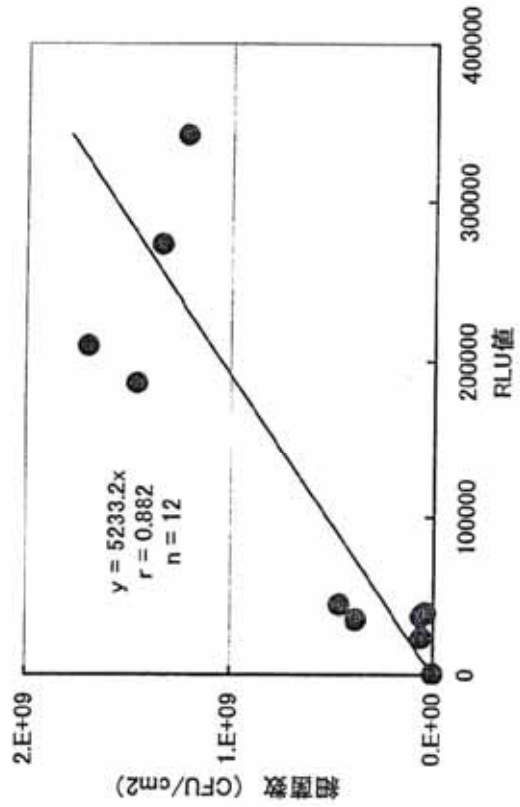


Fig. 18 膜付着細菌数とATP相対発光強度 (RLU値) の関係

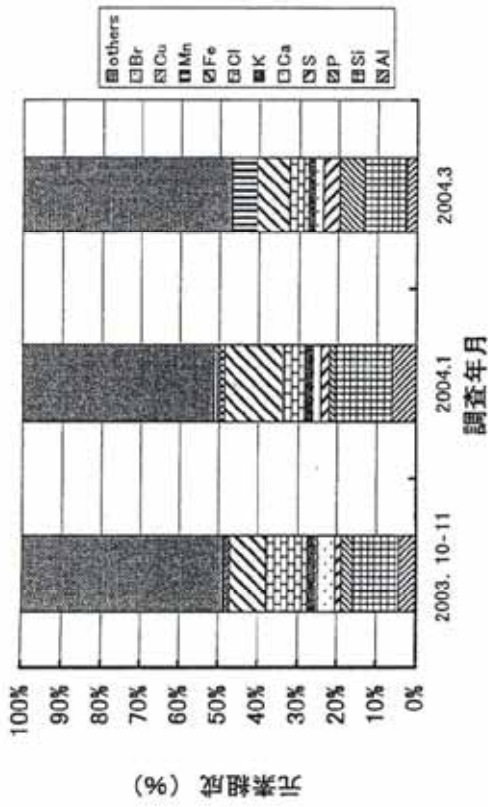


Fig. 20(a) B社A膜付着物中の無機成分組成比における年変動

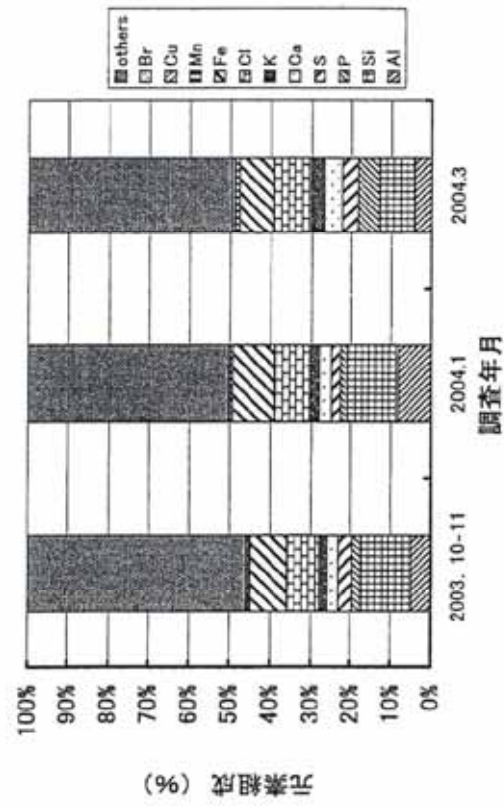


Fig. 20(b) B社C膜付着物中の無機成分組成比における年変動

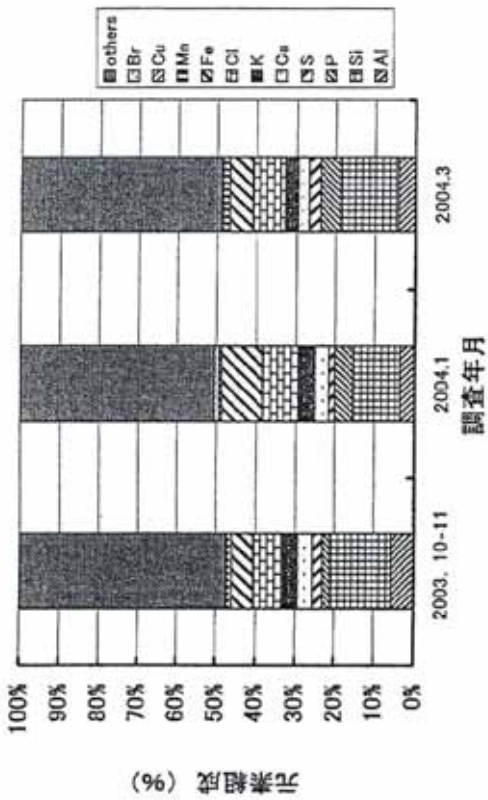


Fig. 19(a) A社A膜付着物中の無機成分組成比における年変動

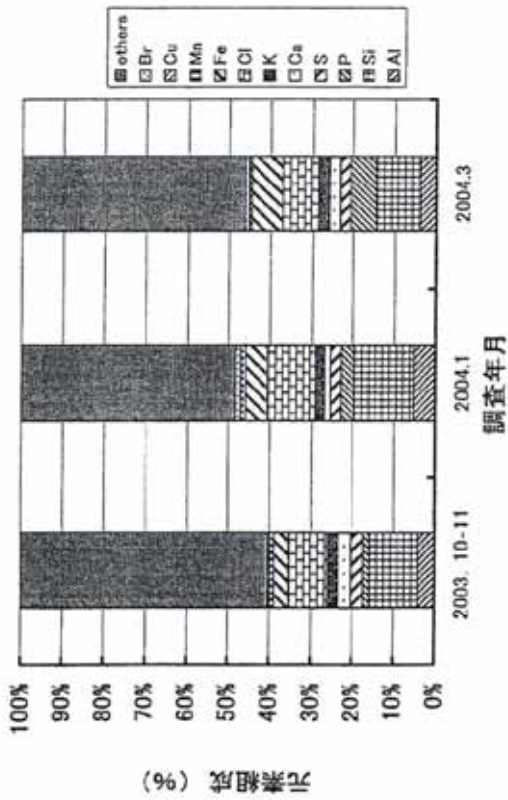


Fig. 19(b) A社C膜付着物中の無機成分組成比における年変動

Research on Fouling Mechanism and Development of Anti-fouling Processes in Membrane Salt-production System

Izuru Kakuta, Akira Yanagi and Hidekatsu Suzuki

Department of Biotechnology, School of Science and Engineering,
Sunshu University of Ishinomaki

Summary

In membrane salt-production system, membrane fouling always degrades its performance, and biofouling due to growth of microorganisms on the surface of ion exchange membrane as well as the deposition onto the membrane surface of some inorganic compounds such as calcium sulfate and magnesium sulfate is a problem of vital importance. Therefore, the quantity and the quality of adherent dirt on the membrane and of suspended solids (SS) in the medium were investigated.

SS levels in sand filtered seawater were always 1/4-1/5 those in raw seawater. In particular, by sand filtration the number of planktons including nannoplanktons declined to less than 4% that of the raw seawater. The number of bacteria also decreased significantly during the sand filtration, but bacterial counts in filtered water fluctuated extremely (less than 1% to 30% those in raw seawater). Bacterial composition (*Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Vibrio* sp., *Moraxella* sp., *Pasteurella* sp. etc.) was not so affected by sand filtration.

The component of SS, on the other hand, changed considerably by sand filtration. This is probably because the carcass, the fecal pellets and some kinds of metabolites (mainly polysaccharides) of marine microorganisms were reloaded in sand filtration process.

The composition of the adherent dirt on ion exchange membrane was classified as organic matter (35-65%), ferric matter (5-15%), the ingredient of earth, sand and seawater, and others (Al, Si, Cl, P, S, Ca, K, Mn, Cu, Br). Large amount of bacteria survived on the membrane surface ($10^5 \sim 10^9$ CFU/cm²). Similar kinds of bacteria are found on the membrane, with small amount of other bacteria such as *Alteromonas* sp. and *Bacillus* sp. existing. The rate of membrane fouling depended on the quantity of dirt substances, which included living microorganisms, their carcass, feces and metabolites in filtered seawater, with various kinds of inorganic matters crystallizing out.