



マイクロ・ナノバブルを生み出す「モノトランフィルム」の技術とその特徴

(株)ナック
開発部部長 篠田 昌孝

1. モノトランフィルム技術開発の経緯

モノトランフィルムは、弊社が販売する機能性フィルムの商標で、岐阜大学の三輪實教授・武野明義准教授が有する、高分子フィルムに物理的な加工を施し多孔質化するクレージング技術をもとに、弊社が開発した多機能フィルムである。三輪教授らが開発した当初は視野制御機能フィルムに特化したフィルムであった。

現在では、携帯電話などの覗き見防止フィルムに代表される「視野角制御機能」、気体は透過するが液体などは透過しない「気体透過機能」、マイクロバブル、ナノバブルと呼ばれる超微細気泡を発生させる「マイクロ・ナノバブル発生機能」の、主に3つの機能を設定し、それぞれの機能において様々な用途開発を進めている。弊社にて、覗き見防止フィルムを量産し、さらなる用途開発を行う過程で、フィルムを気体が透過し、透過した気体が液中において微細な気泡にな

ることを発見した。そこから、マイクロ・ナノバブル発生装置を含む多機能フィルムとしてのモノトランフィルム開発へと繋がっていった。

また、量産化技術においても、当初は試験室レベルでの小規模な加工しかできなかったが、弊社の本業である、金属加工や専用機製作の技術を生かしたフィルム加工機の内製化により、量産化技術を確立した。現在は、1,000mm幅でのロールからロールへの連続加工が可能となっている。

2. モノトランフィルムとマイクロ・ナノバブル発生機能の概要

2.1 モノトランフィルムの構造

視野制御機能に使用するフィルムは、約 $2\mu\text{m}$ のクレーズ（濃い線状の部分）が $10\sim 60\mu\text{m}$ ピッチで形成されている（写真1）。クレーズ現象は高分子材料に特有なものであり、破壊の前駆現象とも言える。クレーズの内部はナノオーダーのボイドとフィブリルから構成され、全体としてスポンジ状に似ており、引張強度は維持されながら弾性的な特性

を示す。この部分は、多孔質により可視光線を通しにくくなることから、正面からの光は透過し、横方向からの光は反射、散乱させる視野制御フィルムとしての機能を発揮する（図1）。

2.2 加工に適したフィルムについて

モノトランフィルムは、オリジナルフィルムにクレーズ加工という後加工を施すことで作られるが、加工に適したフィルムは限定され、ロールからロールへの連続加工が可能な市販フィルムは数種存在するのみである。そのため、フィルムメーカーに加工に適したフィルムの製膜を依頼し、そのフィルムを加工することで対応している。

現在は、主にオレフィン系のフィルムへの加工を行っているが、一部ポリエステル系フィルム、フッ素系フィルムの加工にも成功した。今後はエンジニアリングプラスチックへの加工技術開発も予定している。

2.3 マイクロ・ナノバブル発生方法

形成されたクレーズの規則性の有無に

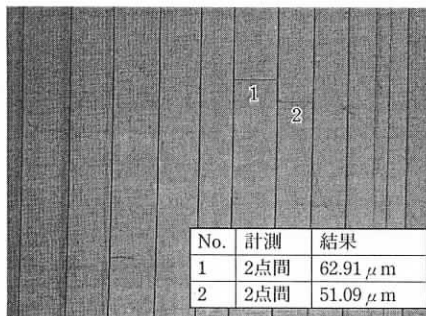


写真1 視野制御モノトランフィルム顕微鏡写真

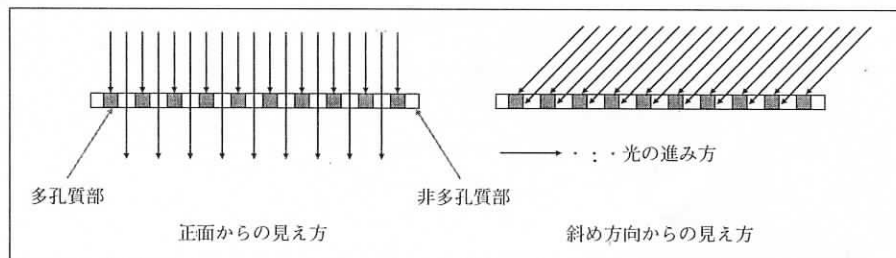


図1 視野制御モノトランフィルムの光の透過

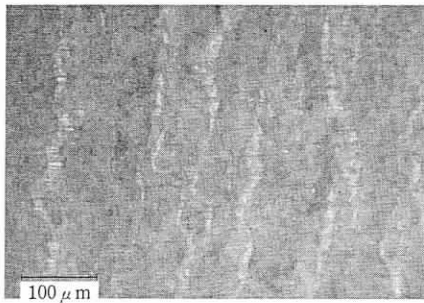


写真2 気体透過性フィルムの顕微鏡写真（白い部分が多孔質状のクレーズ）

関らず、フィルムの厚み方向に連通したフィルムは、気体を透過し、マイクロ・ナノバブル発生機能に使用される（写真2）。

クレーズ内に形成されるナノオーダーのポイド、フィブリルは部分的、不連続に繋がっているため圧縮気体は透過するが、水などの液体は加圧状態であっても殆ど通過しない。この特徴を利用し、図2に示すようなシステムによりマイクロ・ナノバブルを発生させる。

モノランフィルムは、加工条件により、クレーズの発生量、ポイド、フィブリルの大きさを、大まかではあるが調整

することができる。これにより、用途に応じたフィルムのエアークリア量に加工することも可能となり、マイクロ・ナノバブル発生量を調整することも可能となっている。

3. モノランフィルムから発生するマイクロ・ナノバブルの特徴と用途

弊社では、モノランフィルムを利用したマイクロ・ナノバブル発生装置（写真3）を「フォーメスト」の商標で製造販売している。フォーメストの商品群のなかで、最も標準的な製品が「コラムタイプ」と呼ばれる円筒形状のもので、小型のものは、フラスコに使用可能な直径8mm、長さ40mmから、大型では排水処理槽等の水槽に使用する直径50mm、長さ900mmのものまで用途に応じたサイズを製作している。

現在、マイクロバブルやナノバブルといった超微細気泡を発生させる装置は、弊社製品の他にも多数販売されているが、これら製品と比較した際の利点として、低い稼働コスト、シンプルな構造、

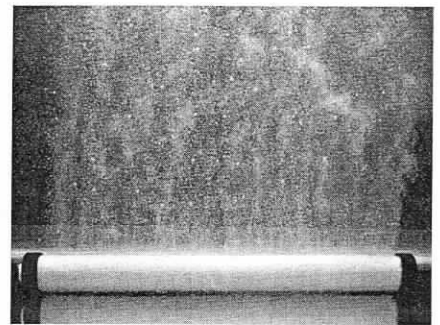


写真3 マイクロ・ナノバブル発生装置

かつ、使用環境に制限が少ないことが挙げられる。システム内に液体を取り込み加圧、せん断することなく気泡を発生させるため、浮遊物や固形物が混在している液中でも使用することが可能である。また、可動部品が存在せず、装置に加圧気体を送ることだけで気泡を発生させるので、トラブルが少なく、メンテナンスも容易である。

フォーメスト・コラムタイプから発生する気泡を、ハイスピードマイクロスコープカメラで観察すると、数μmから約200μmの気泡が混在して発生していることが確認できる（写真4）。約100μm以上のサイズの気泡は比較的早く上昇するが、それ以下の気泡は浮力が弱く、水中を漂い始める。この気泡の存在が、以降に述べる気体溶解効率を高める要因である。また、マイクロスコープで観察できる数μm以下の気泡（ナノバブル）の存在についても、日本カンタムデザイン社から販売されているナノ粒子測定器「ナノサイト」を用いて測定を行い、約200μmサイズをピークとして発

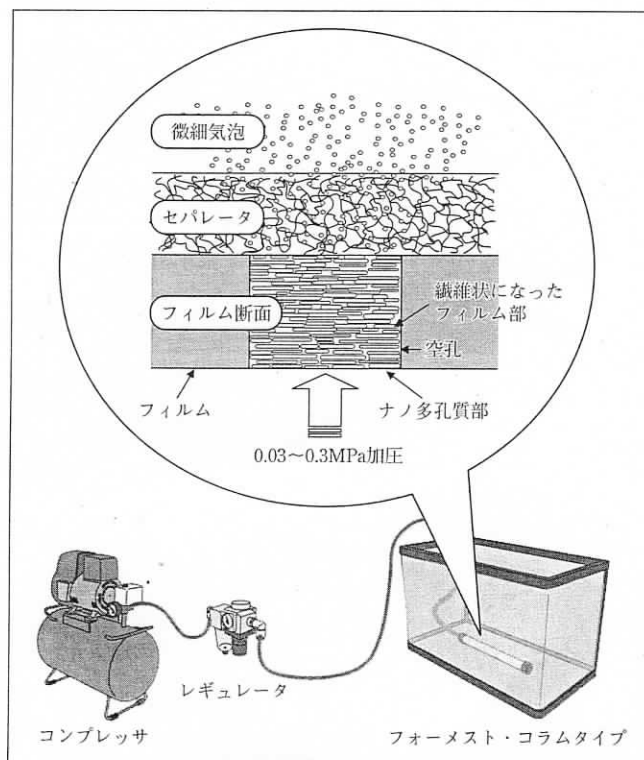


図2 マイクロ・ナノバブル発生メカニズム

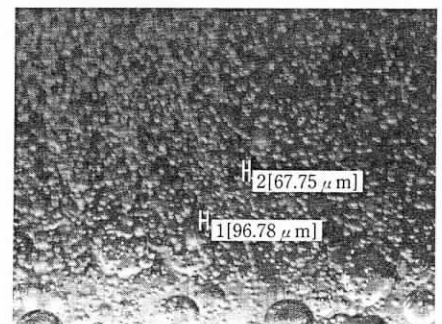


写真4 フォーメスト・コラムタイプから発生する気泡（ハイスピードカメラで撮影）

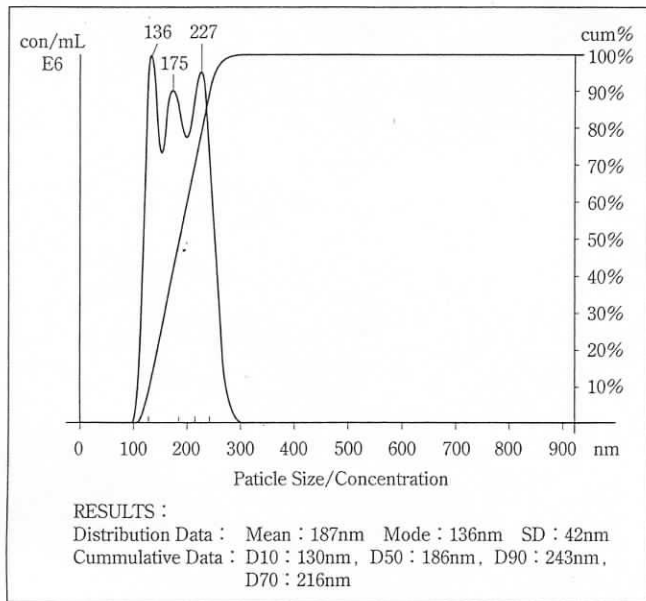


図3 ナノバブル測定結果（フォームストで純水に気泡を発生させた後測定）

生していることが確認されている（図3）。

マイクロ・ナノバブルを利用する際の大きな利点の1つに、液中への気体溶解率の高さがある。微生物を利用し排水処理を行う活性汚泥槽などでは、比較的大きなサイズの気泡を発生する散気管と呼ばれる装置によりエアレーションを行っているが、この散気管の酸素溶解能力の違いで処理効率、消費電力に大きな違いが出る。図4のグラフの測定結果を基に、フォームスト・コラムタイプの酸素溶解効率を計算すると、観賞魚等の水槽に使用される一般的な気泡発生器であるエアーストーンが6.9%であるのに対し、フォームストは69.5%で、約10倍の酸素溶解能力があることが確認された。また、他方式のマイクロ・ナノバブル発生装置と物質移動容量係数（kLa）に基づき比較した場合、酸素溶解能力が非常に高いとされる加圧溶解方式と同等の酸素溶解能力があることが確認されている。

フォームスト・コラムタイプの排水処理槽への活用に関しては、平成20、21年度の経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」に採択され、様々な事業所からの排水処理実験を行った結果、処理効率とエネルギー効率の向上に効果があることが実証された。現在も数

か所の排水処理場での実地実験を行っており、今年度中の実用化を目指している。

また、数年前から養魚養殖業や水耕栽培など農業への応用に取り組んでおり、収穫量や品質向上が確認されている。その他、食品、医薬品製造工場のパイロリアクター、精密部品等の洗浄等にも効果が認められており製品化に向けての検証が続けられている。

さらに、近年、フッ素系フィルムへのクレーズ加工が可能になったことで、オープンマイクロバブル装置の開発にも着手している。この装置は、従来のフォームスト・コラムタイプとは構造や発生方法が異なり、数 μ m以下の気泡だけを選択的に発生させることが可能となるため、製品用途の広がり期待される製品である。

4. 今後への抱負

マイクロ・ナノバブルの需要は、今後さらに増えることが予測される。特に近年の環境保護に対する機運の高まりもあり、水質浄化の需要は、国内のみならず、新興国など、海外においては飛躍的に増大するであろうことは疑う余地がない。富栄養化により、汚染された閉鎖性の海域や、湖沼、河川、ため池などの水質浄

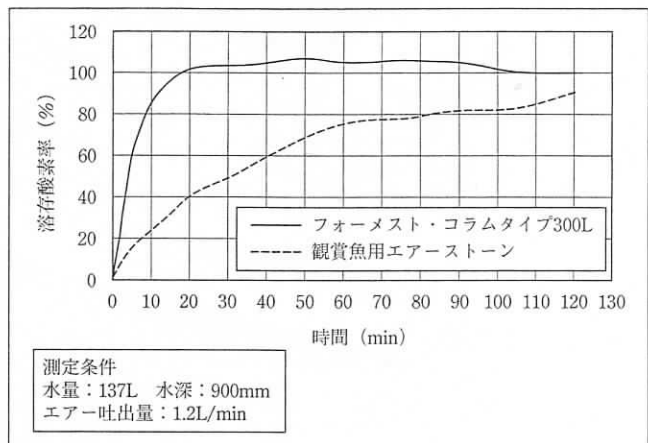


図4 フォームストとエアーストーンの溶存酸素率の比較

化は、これまでに様々な試みがなされてきたが、これとって有効な手段が見つかっていないのが現状である。弊社のフォームストは、これに対する有効な解決策となり得る製品であると考えている。

エネルギー効率が高いマイクロ・ナノバブル発生システムは、自然のエネルギー（例えば、太陽光、風力、波力など）を利用することも可能で、これらを動力源とし、貧酸素状態となった海底や湖底において、広範囲かつ大量に微細気泡を発生させ、好気性微生物の増殖を促し、有機物を処理するという自然の浄化能力を最大限に生かした浄化は、まさに自然環境に優しい方法と言える。

今後はさらに、この装置の品質や耐久性を高め、社会貢献度の高い水質浄化分野における製品開発に向け邁進してゆく所存である。

加工技術研究会 編
 A4判 本文639頁
 定価: 36,750円
 (本体価格 35,000円、
 消費税 1,750円、送料別)
 発刊日: 2009年10月4日
 ※ 特別価格: 月刊「コンバーテック」
 定期購読者限定1冊31,500円
 ※ 2冊目からは定価になります。
 (本体価格: 30,000円、
 消費税 1,500円、送料別)